

10608018

S1 1 PN=JP 2002258207

1/9/1

DIALOG(R) File 347:JAPIO

(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

07389706 \*\*Image available\*\*

WAVELENGTH DISPERSION AND DEVICE WHERE THE WAVELENGTH DISPERSION SLOPE CAN  
BE MADE VARIABLE

PUB. NO.: 2002-258207 A]

PUBLISHED: September 11, 2002 (20020911)

INVENTOR(s): MITAMURA NOBUAKI

KAWABATA YUICHI

APPLICANT(s): FUJITSU LTD

APPL. NO.: 2001-058947 [JP 20011058947]

FILED: March 02, 2001 (20010302)

INTL CLASS: G02B-027/00; G02B-005/18; G02B-005/28; G02B-006/293;  
H04B-010/02; H04B-010/18

#### ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device simultaneously carrying out dispersion compensation of wavelength dispersion and wavelength dispersion slope actually accumulated to optical fiber in multiple channels and in multiple wavelength ranges by having an arbitrary wavelength dispersion and a wavelength dispersion slope generated.

SOLUTION: In the device, beams of each wavelength outputted in angular dispersion from a VIPA board are converged by a lens, diffracted by a pair of gratings that also double as an optical path deviation generating means and an optical path deviated quantity varying means and deviations in the optical paths of beams of different wavelength are generated. Thus, when the beams are reflected on a dispersion flattening 3 dimensional mirror and inputted again to the VIPA board, the wavelength dispersion quantity that is different for each wavelength can be realized since each wavelength hits a part of the 3 dimensional mirror with a different dispersion compensating quantity and therefore, adjustment of the dispersed quantity of WDM beam over all wavelength and adjustment of the wavelength dispersion slope can be carried out independently.

COPYRIGHT: (C) 2002, JPO

logoff hold

30jun03 14:02:07 User206065 Session D4548.4

Sub account: 12706/6/SCHE50

10608018

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-258207

(P2002-258207A)

(43) 公開日 平成14年9月11日 (2002.9.11)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード*(参考)	
G 0 2 B	27/00	G 0 2 B	5/18	2 H 0 4 8
	5/18		5/28	2 H 0 4 9
	5/28		27/00	Z 5 K 0 0 2
	6/293		6/28	D
H 0 4 B	10/02	H 0 4 B	9/00	M
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 34 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願2001-58947 (P2001-58947)

(22) 出願日 平成13年3月2日 (2001.3.2)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 三田村 宣明

北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1  
富士通北海道デジタル・テクノロジー株式会社内

(72) 発明者 川幡 雄一

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100074099

弁理士 大昔 義之 (外1名)

最終頁に続く

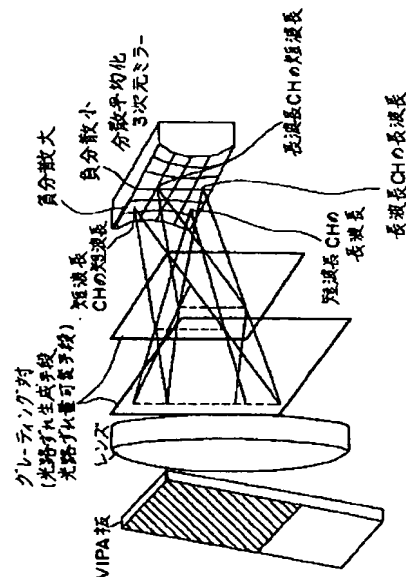
(54) 【発明の名称】 波長分散及び波長分散スロープを可変出来る装置

(57) 【要約】

【課題】 任意の波長分散および波長分散スロープを生じさせ、実際に光ファイバに蓄積された波長分散および波長分散スロープを多チャンネルの多波長領域において同時に分散補償する装置を提供する。

【解決手段】 V I P A板から角分散されて出力された各波長の光は、レンズによって集束されると共に、光路ずれ生成手段及び光路ずれ量可変手段を兼ねるグレーティング対によって、回折され、異なる波長の光の光路にずれを生じさせる。このようにして、分散平坦化3次元ミラーに光を反射させて、再びV I P A板に入力すると、波長によって、3次元ミラーの分散補償量の異なる部分にあたるので、波長毎に異なる波長分散量を実現でき、従って、WDM光の波長全般にわたる波長分散量の調整と波長分散スロープの調整を独立に行うことが出来る。

波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための原理構成を示す図



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 光を受け取り、光を出力する複数の透過域を持ち、その透過域内で連続する波長を複数持つ入力光を受け取り、入力光の多重反射を行って、前記連続する波長範囲内の他の波長を持つ入力光に対して形成された出力光とは空間的に区別することの出来る出力光を形成し、自己干渉を行わせることにより、前記出力光を実質的に直線状の分散方向に、各々の波長によって異なる出力角度で分散させるバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ（VIPA）と、

VIPAによって形成される出力光を集束させるレンズと、

集束した光を前記レンズに反射して戻し、前記レンズは、反射された出力光をVIPAに戻し、それによって反射された出力光がVIPA内で多重反射を受けて、VIPAから透過域を通じて出力されるようにするミラーであって、VIPAによる角分散方向に対して、VIPAからの出力光に各波長によらず略一定の波長分散を与えるような形状を有し、かつVIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に対して、異なる波長分散を与える形状を有しているミラーと、

該レンズとミラーとの間に、VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に、各々の波長によって実質的に平行に光路ずれを生じさせる手段と、

光路ずれ量を可変する手段とを備え、

光路ずれ量に応じて波長分散スロープを、該波長分散とは独立に可変することを特徴とする装置。

【請求項2】 前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向にミラーを可動し、該VIPAからの出力光に異なる波長分散を与えることのできる可動部を更に備えることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記光路ずれを生じさせる手段が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、該光路ずれ量を可変する手段が、該回折格子対の間隔を変える手段であることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項4】 前記光路ずれを生じさせる手段が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、該回折格子対を光路に対して180度回転させることにより、波長によって光路ずれを生じさせる方向を逆にさせ、波長分散の傾き（波長分散スロープ）の正負を変えると共に、該回折格子対の間隔を変えることにより光路ずれ量を可変することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項5】 前記光路ずれを生じさせる手段が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分

散を有し、かつ逆方向に角分散を有する領域を少なくとも2つ以上有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、

該回折格子対を移動させることにより光を異なる領域に当てて逆方向の角分散を生じさせ、波長によって光路ずれを生じさせる方向を逆にすることにより、波長分散スロープの正負を変えると共に、回折格子対の間隔を変えることにより光路ずれ量を可変することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項6】 前記光路ずれを生じさせる手段が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有し、かつ角分散の異なる複数の領域を有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、

該回折格子対を移動させることにより光を異なる領域に当てて、異なる角分散を生じさせ、光路ずれ量を可変することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項7】 前記光路ずれを生じさせる手段が、屈折率波長分散を有する透明材料からなる少なくとも1つ以上の平行平板であり、

前記レンズからの出力光に対する該平行平板の角度を前記VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に変えることにより光路ずれ量および光路ずれの方向を可変することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項8】 前記光路ずれを生じさせる手段が、屈折率波長分散を有する透明材料からなる2枚のプリズムを、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上のプリズム対であり、光路ずれ量を可変する手段が、プリズム対の間隔を変える手段であることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項9】 第1のポートと第2のポートを有し、該第1のポートに入力された光を該第2のポートの異なる位置に対応して遅延を与え出力することで該第2のポートからの出力光が干渉し、異なる波長は異なる出射角とし、該第2のポートの異なる位置に入力された光を該第2のポートの位置に対応した遅延を与えて該第1のポートより出力する光学デバイスと、

該光学デバイスの該第2のポートからの光を該光学デバイスの第2のポート側に反射する反射手段と、

該光学デバイスと該反射手段の間に該光学デバイスの該第2のポートからの光の光路をずらす光路ずれ生成手段を設けたことを特徴とする装置。

【請求項10】 請求項9において、該光路ずれ生成手段は光路ずれ量を可変出来ることを特徴とする装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、波長分散及び波長分散スロープを生成する装置であって、光ファイバ送信網において蓄積する波長分散を補償するために用いる装

置に関わる。より具体的には、本発明は、バーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイを波長分散および波長分散スローブを生成するために用いる装置に関わる。

#### 【0002】

【従来の技術】光を介して情報を送信するための従来のファイバ光通信システムでは、送信器は、パルスを光ファイバを介して受光器に送出する。しかし、「色分散」とも言われる、光ファイバの波長分散は、システムの信号の質を劣化させる。

【0003】より具体的には、波長分散の結果、光ファイバの信号の伝搬速度はその信号の波長に依存する。例えば、（例えば、「赤」色パルスを示す波長を持つパルス）長い波長を持つパルスが、（例えば、「青」色パルスを示す波長を持つパルス）短い波長を持つパルスよりも速く伝搬するとき、一般に「正常」分散という。逆に、（例えば、青色パルスのような）短い波長を持つパルスが（例えば、赤色パルスのような）長い波長を持つパルスよりも速く伝搬するとき、一般に「異常」分散という。

【0004】従って、パルスが赤色及び青色パルスを含む場合で、送信器から送出される場合、パルスは光ファイバを介して伝搬する時に分かれて、分離された赤色パルス及び青色パルスが、異なる時間に受光器によって受光される。ここで、赤色パルスが青色パルスよりも速く伝搬する場合を、「正常」分散という。

【0005】パルス送信の他の例として、青から赤へ連続する波長成分を持つ場合には、赤色成分及び青色成分は、異なる速度で伝搬するため、パルスは、光ファイバ内で広げられ、波長分散によって歪む。全てのパルスは有限の波長領域を含むため、このような波長分散はファイバ光通信システムにおいて、大変よく起こることである。

【0006】従って、ファイバ光通信システムについて、高送信能力を得るために、ファイバ光通信システムは、波長分散を補償することが必要となる。このような波長分散を補償するために、逆分散素子がファイバ光通信システムには必要となる。一般に、逆分散素子は、光ファイバを介して伝搬することにより生じる分散をうち消すために、「逆」分散をパルスに与える。

【0007】逆分散素子として用いることが可能な装置が従来幾つか存在する。例えば、分散補償ファイバは、特定の断面インデックスプロファイルを持ち、それにより逆分散素子として動作し、光ファイバによって生じた分散をうち消すために逆分散を与える。しかし、分散補償ファイバは、製造するのに高価であり、また、十分に波長分散を補償するためには、比較的に長い必要がある。例えば、光ファイバが100kmの長さである場合、分散補償ファイバは、約20から30kmである。このため、損失が大きくなり、寸法が大きいという問題がある。

【0008】図1は、色分散を補償するために、逆分散素子として用いるチャープ・ファイバグレーティングを示す図である。図1に示すように、光ファイバを介して伝搬し、波長分散された光は、光サーキュレータ50の入力ポート48に供給される。サーキュレータ50は、光をチャープファイバグレーティング52へ供給する。チャープファイバグレーティング52は、異なる波長成分はチャネルファイバグレーティングによって異なる距離で反射され、異なる波長成分は異なる距離を伝搬し、波長分散を補償することができるように、光をサーキュレータ50に戻す。例えば、チャープファイバグレーティング52は、長い波長成分はチャープファイバグレーティング52によって遠い距離で反射され、短い波長よりも長い距離を伝搬するように設計することが可能である。サーキュレータ50は、その後、チャープファイバグレーティング52から出力ポート54へ反射された光を供給する。従って、チャープファイバグレーティング52は、パルスに逆分散を加えることができる。

【0009】しかし、チャープファイバグレーティング52は、反射するパルスについて、大変狭い帯域しか持たない。従って、波長分割多重光のような多くの波長を含む光を補償するために十分な波長帯域を得ることができない。たくさんのチャープファイバグレーティングを、波長多重信号について、カスケードさせることは可能である。しかし、この結果、システムが高価になる。このような図1に示すような、サーキュレータを組み合わせたチャープファイバグレーティングは、1つの波長のファイバ光通信システムに用いる時などに適している。

【0010】図2及び図3は、波長分散を生成するために用いることができる、従来の回折格子を示す図である。図2に示すように、回折格子56は、格子面58を持つ。異なる波長を持つ平行光60は、格子面58に入射する。光は、格子面58の各段で反射され、互いに干渉する。その結果、異なる波長を持つ光62、64、及び66は回折格子58から異なる角度で出力される。回折格子は、波長分散を補償するために、以下でより詳しく述べる空間格子対配列で用いることができる。

【0011】図3（A）は、波長分散を補償するために、逆分散素子として用いる空間格子対配列を示す図である。図3（A）に示すように、光67は、第一の回折格子68から回折され、短い波長についての光69及び長い波長についての光70になる。これら光67及び70は、その後、第二の回折格子71により回折され、同じ方向に伝搬する光になる。図3（A）に示すように、逆分散を加えるために、異なる波長を持つ波長成分は異なる距離を伝搬し、それにより、波長分散を補償する。（光70のような）長い波長は、（光69のような）短い波長よりも長い距離を伝搬するので、図3（A）に示す空間格子対配列は、異常分散を持つ。

【0012】図3(B)は、色分散を補償するために、逆分散素子として用いる他の空間格子対配列を示す図である。図3(B)に示すように、レンズ72及び74は、焦点の1つを共有するように、第一及び第二の回折格子68及び71の間に位置する。(光70のような)長い波長は、(光69のような)短い波長よりも短い距離を伝搬するので、図3(B)に示す空間格子対配列は、正常分散を持つ。

【0013】図3(A)及び図3(B)に示すような空間格子対配列は、一般に、レーザ共振器で分散を制御するために用いられる。しかし、実際の空間格子対配列は、ファイバ光通信システムにおいて生じる比較的大きな量の色分散を補償するために十分大きな分散を与えることができない。より具体的には、回折格子によって生じる角分散は、普通、極端に小さく、一般に約0.05度/nmである。従って、ファイバ光通信システムにおいて生じる波長分散を補償するためには、第一及び第二の回折格子68及び71は、大きな距離を隔てていなければならないことになり、このことにより、そのような空間格子対配列は、実用的ではないことになる。

【0014】図4は、VIP Aを使用した逆分散素子の従来技術を示す図である。上記従来技術に対して、特許出願番号平成10年-534450及び平成11年-513133には、図4に示すような「Virtually Image d Phased Array」、すなわちVIP A1と呼ぶ部分を含む装置が逆分散素子として提案されている。VIP Aは、異なる波長の光を空間的に区別できるようにVIP Aから伝搬させる。この装置は、VIP Aに光を戻し、VIP A内で多重反射が発生するようにするための返光装置2も含む。

【0015】上記装置は、連続する波長範囲内の波長の入力光を受け取り、対応する出力光を連続して生成する。VIP A1を含む装置を備えることによって達成される。この出力光は、連続する波長範囲内の他の波長の出力光とは空間的に区別できる(例えば、異なる方向に進む)。この出力光が進行角度で区別できれば、この装置は角度分散が有るということである。

【0016】更に上記装置は、VIP A1及び返光装置2を備えることによって達成される。VIP A1には、透過域及び透明部材が含まれる。透過域を通ることによって光はVIP A1に入出力することができる。透明部材3は、第1及び第2の表面を持つ。第2の表面は反射性を有し、入射光の一部を透過する。入力光は透過域を通してVIP A1に受光され、透明部材の第1及び第2の表面の間で何度も反射され、複数の光が第2の表面を透過する。複数の透過光が互いに干渉して出力光4が生成される。入力光は、連続する波長範囲内の波長を持ち、出力光は、その波長範囲内の他の波長を持つ光とは空間的に区別することができる。返光装置2は、出力光を完全に逆方向に第2の表面へと返すことが出来、第2

の表面を透過してVIP A1に入力され、その出力光がVIP A1内を多重反射してVIP A1の透過域から入力経路へ出力される。

【0017】更に、上記装置は、入力光の波長と同じ波長を持ち、異なる干渉次数を持つ複数の出力光を生成するVIP Aを備えた装置を用意することによって達成される。本装置は、また、1つの干渉次数にある出力光をVIP Aに返し、その他の出力光は返さない返光装置も備えている。これによって、一つの干渉次数に対応する光のみをVIP Aに返す。

【0018】さらに、上記装置は、VIP A、返光装置、及びレンズ5を含む装置を備えることによって達成される。VIP Aは、入力光を受け取り、VIP Aから伝搬する、対応する出力光を生成する。返光装置はVIP Aから出力光を受け取り、その出力光をVIP Aに返す。レンズは、(a)出力光が、VIP Aからレンズを通り、更にレンズによって返光装置に集光されることによってVIP Aから返光装置に進み、(b)出力光が、返光装置からレンズへ、そしてレンズによってVIP Aに方向付けされることによって返光装置からVIP Aに返され、更に(c)VIP Aからレンズに進む出力光が、レンズからVIP Aに返る出力光に対して平行及び逆方向に進むように位置決めされる。更に、VIP Aからレンズに進む出力光は、レンズからVIP Aに返される出力光とは重ならない。

【0019】更に、上記装置は、VIP A、ミラー6、及びレンズを含む装置を備えることによって達成される。VIP Aは、入力光を受け取り、対応するVIP Aから伝搬する出力光を生成する。レンズは、出力光をミラーに集光させ、ミラーが出力光を反射して、反射光がレンズによってVIP Aに返される。ミラーは、装置が一定の波長分散を行うように形成する。

【0020】以上のようにVIP Aは、回折格子のように角分散の機能を持ち、波長分散補償を可能とするが、特に大きな角分散を有することが特徴であり、実用的な逆分散素子を容易に提供することができる。しかし、波長多重伝送システムに用いるための実用的な逆分散素子としては、更に特別なニーズが存在する。

【0021】図5は、一般に実用化されている光ファイバの有する波長分散を示す図である。一般に実用化されている光ファイバの有する波長分散は図5に示すように波長によって一定のではなく、わずかに正の傾き(波長が長くなるほど波長分散が正となる)を有することが多い。例えば、一般的なシングルモードファイバ(SMF)の場合には、1km当たりの波長分散が波長1580nmにおいて約+17ps/nmであるのに対し、波長分散スロープは1km当たり0.06ps/nm<sup>2</sup>であり、必要な波長帯域幅が例えば35nmである場合には、+2ps/nm程度の波長分散の変化となる。このような波長分散の傾きを波長分散スロープないしは2次

の波長分散と呼ぶことがある。なお、波長分散スロープは必ずしも正（波長が長くなるほど波長分散が大きくなる）とは限らず、ファイバの構造を変えることにより零分散波長を1.5  $\mu\text{m}$ の波長帯域にシフトさせた、分散シフトファイバでは零分散波長よりも長い波長域などで負の波長分散スロープも生じ得る。

【0022】更に、図5の波長分散のグラフも実際には直線ではなく、波長分散の傾き（波長分散スロープ）も厳密には一定ではないが、このような3次の波長分散は40 Gb/s程度の伝送速度では問題となることが少なく、無視することが出来る。

【0023】ここで、実際に光ファイバの伝送路の波長分散を考えると、光ファイバの種類によって図5のように単位長さ当たりの波長分散及び波長分散スロープが決まり、次に光ファイバの長さ（伝送距離）によって、実際の波長分散及び波長分散スロープが決定される。このような実際の光ファイバ伝送路の波長分散を逆分散素子により補償する場合には、まず波長分散をある程度可変出来ることが望ましい。これは、光ファイバの種類や伝送距離は、伝送システムの伝送速度や波長帯域、光ファイバの敷設された時期や敷設する現地の状況によって千差万別だからである。

【0024】更に、波長多重伝送の場合には、前述したように波長分散のみを補償できても十分ではなく、波長分散スロープも問題となってくる。仮に、ある信号チャネルの波長で分散が補償出来たととしても、逆分散コンポーネントの波長分散が一定であるならば、異なる信号チャネルの波長では波長分散を完全に補償できないからである。このため、波長多重伝送用の逆分散素子は、波長分散スロープを有することが望ましい。更に、前述したように、伝送距離は千差万別なので、波長分散スロープは長さに比例して波長分散と共に変化するため、波長分散スロープもある程度可変出来ることが望ましい。しかも、与えるべき波長分散スロープの値は波長分散の値で一義的に決まるものではない。なぜなら光ファイバの種類が変われば、図5から明らかなように波長分散だけでなく、波長分散スロープも変わるからである。すなわち、波長多重伝送の場合、光ファイバ伝送路の波長分散を逆分散素子により補償する場合には、波長分散と波長分散スロープとを独立にある程度可変できることが最も望ましいといえる。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】このような波長分散と波長分散スロープとを独立に可変する方法は、前記特許出願番号平成10年-534450及び平成11年-513133には具体的には記載されていない。また、従来存在する逆分散素子では実現されていない。

【0026】まず、分散補償ファイバは逆分散スロープを有するようなインデックスプロファイルの設計が可能であるが、その値を変えるには千差万別のインデックス

プロファイルと千差万別の長さが必要で、現実的ではない。また、前述したように、高価、損失が大きい、寸法が大きいという問題も有している。

【0027】また、チャープファイバグレーティングも、ファイバグレーティングのチャープの設計を最適化すれば、逆分散スロープを与えることはできるが、その値を変えるには千差万別のインデックスプロファイルと千差万別の長さが必要で、やはり現実的ではない。仮に、温度を変化させて波長分散と波長分散スロープを変えたとしても、波長分散スロープの値は波長分散の値で一義的に決まり、波長分散スロープとを独立に可変出来ない。また、前述したように、波長分割多重光のような多くの波長を含む光を補償するために十分な波長帯域を得ることもできない。

【0028】従来の回折格子では、回折格子の組み合わせ方によっては、波長分散と波長分散スロープとを独立にある程度可変出来る可能性はあるが、前述したように、現実的な寸法ではファイバ光通信システムにおいて生じる比較的大きな量の色分散を補償するために十分大きな分散を与えることができず、実用的ではない。

【0029】以上説明してきたとおり、本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、任意の波長分散および波長分散スロープを生じさせ、実際に光ファイバに蓄積された波長分散および波長分散スロープを多チャネルの多波長領域において同時に分散補償する装置を提供することを課題とする。

【0030】

【課題を解決するための手段】本発明の目的は、前記VIPAを含む装置において、VIPAによる角分散方向に対して、VIPAからの出力光に各波長によらず略一定の波長分散を与えるような形状を有し、かつVIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に対して、異なる波長分散を与える形状を有しているミラーと、前記レンズとミラーとの間に、VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に、各々の波長によって実質的に平行に光路ずれを生じさせる手段と、光路ずれ量を可変する手段とを備える装置を提供することによって達成できる。

【0031】本発明によれば、波長分散と波長分散スロープを独立して制御し、光信号に、波長分散と波長分散スロープを与えることが出来るので、実際に、光ファイバを用いて高速の光通信を実現する場合に、有効な波長分散補償器を提供することが出来る。

【0032】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を以下に詳細に述べる。添付の図面では、同じ機能の装置には同じ番号を付けて示す。

【0033】図6は、本発明の一実施形態で用いるVirtually Imaged Phased Array (VIPA)を示す図である。また、以後は、「Virtually Imaged Phased A

rray」と「VIPA」は、互いに置き換えて使用できる用語とする。

【0034】図6によれば、VIPA76は、薄いガラス板で作成するのが望ましい。入力光77は、半円筒レンズなどのレンズ80を使用してライン78に集光され、入力光77がVIPA76に進むようにする。ライン78は、以後、焦点ライン78と呼ぶ。入力光77は、焦点ライン78から放射状に伝搬し、VIPA76内に受け入れられる。次に、VIPA78は、平行光の光束82を出力する。光束82の出射角は、入力光77の波長の変化と共に変わる。例えば、入力光77の波長が $\lambda_1$ のとき、VIPA76は波長が $\lambda_1$ の光束82aを特定の方向に出力する。入力光77の波長が、 $\lambda_2$ のとき、VIPA76は波長が $\lambda_2$ aを特定の方向に出力する。従って、VIPA76は、互いに空間的に区別することが可能な光束82a及び82bを生成する。

【0035】図7は、本発明の一実施形態で用いるVIPA76の詳細図である。図7によれば、VIPA76は、例えばガラス製で、表面に反射膜122及び124を持つプレート120を備える。反射膜122は、反射率が約95%以上であることが望ましいが、100%より小さいこととする。反射膜124は、反射率がおよそ100%であることが望ましい。照射ウィンドウ126はプレート120上に形成され、その反射率はおよそ0%であることが望ましい。入力光77はレンズ80によって照射ウィンドウ126を通じて焦点ライン78に集光され、反射膜122と124の間で多重反射が起こるようにする。焦点ライン78は、反射膜122が取り付けられているプレート120上にあることが望ましい。このように、焦点ライン78は本質的には照射ウィンドウ126を通じて反射膜122上に集光させるラインである。レンズ80によって集光される焦点ライン78の幅は、入力光77のビームウエストとも呼ばれる。

【0036】このように、図7に示される本発明の実施形態では、入力光77のビームウエストは、プレート120の遠い方の表面（すなわち反射膜122の面）に集光される。プレート120の遠い方の表面にビームウエストを集光させることによって、本発明の実施形態では、照射ウィンドウ126を通して入ってくる入力光77によって覆われるプレート120の表面の照射ウィンドウ126の領域（例えば、以下で詳細を説明するが、図10に示す領域a）と、入力光77が反射膜124によって最初に反射されるときに入ってくる反射膜124上の領域（例えば、下記に詳細に説明する、図10に示す領域b）とが重なってしまう可能性を低くすることができる。VIPAの適切な動作を確実なものにするために、このような重なりを少なくすることが望ましい。

【0037】図7では、入力光77の光軸132にはわずかな傾き角 $\theta$ が見られる。反射膜122の最初の反射では、5%の光が反射膜122を透過し、ビームウエ

ストの後で発散する。また、95%の光が反射膜124に向かって反射する。最初に反射膜124によって反射された後、光は再度反射膜122にあたるが、今度はdだけずれている。次に、5%の光が反射膜122を透過する。同じように、図7に示すように、光がビームウエストの虚像134から広がる形となる。虚像134は、プレート120に対する垂直線にそって一定の間隔2tで配置される。ここで、tは、プレート120の厚さである。虚像134におけるビームウエストの位置は、自動的に設定されるものであり、それぞれの位置を調整する必要はない。虚像134からの光は互いに干渉し、入力光77の波長に従って異なる方向に伝搬する平行光136を形成する。

【0038】光経路の間隔は、 $d = 2t \sin \theta$ であり、隣接する光線の経路長の差は、 $2t \cos \theta$ である。角分散は、これらの2つの値の割合に正比例する。すなわち、 $\cot \theta$ に比例する。この結果、VIPAはかなり大きい角分散を生じる。

【0039】図7から明らかなように、「Virtually Imaged Phased Array」という用語は、虚像134の配列が形成される様子から生まれたものである。図8は、本発明の実施形態による図6に示すVIPA76のIX-IXの線に沿った横断面を示す図である。

【0040】図8によると、プレート120には反射面122、及び124がある。反射面122及び124は、互いに平行でありプレート120の厚さtの間隔で配置されている。反射面122及び124は、プレート120に配置される典型的な反射膜である。上記の通り、反射面124の反射率は、照射ウィンドウ126をのぞき、およそ100%である。反射面122の反射率は、およそ95%以上である。従って、反射面122の透過率はおよそ5%以下であるので、入射光の約5%以下が反射面122で透過し、約95%以上が反射される。反射面122及び124の反射率は、変更してもVIPAの動作には大きな影響は与えない。ただし、反射面122の反射率は100%より小さくして入射光の一部が透過できるようにしなければならない。

【0041】反射面124には、照射ウィンドウ126が設けられている。照射ウィンドウ126は、光を透過させ、出来れば光を反射しないか、又は非常に小さい反射率であることが望ましい。照射ウィンドウ126は、入力光77を、反射面122と反射面124間で受光し、反射させる。

【0042】図8は、図6の直線IX-IXに沿った横断面を示している。図6に示した焦点ライン78は図8では「点」で表現されている。ここで、入力光77は、焦点ライン78から放射状に伝搬する。更に、図8に示すように、焦点ライン78は、反射面122上に位置する。焦点ライン78が反射面122上にある必要はないが、焦点ライン78の位置ずれによってVIPA7

6の特性にわずかな変化が生じる。

【0043】図8に示すとおり、入力光77は照射ウィンドウ126の領域A0を通してプレート120に入る。ここで、点P0は領域A0の周辺の点を示す。反射面122の反射率によって、およそ95%以上の入力光77が反射面122によって反射され、反射面124の領域A1に入射する。点P1は、領域A1の周辺の点を示す。反射面124の領域A1で反射された後、入力光77は、反射面122に進み、一部が反射面122を透過して光線R1が示す出力光Out1となる。

【0044】このように、図8に示すように、入力光77は反射面122と反射面124の間で多重反射される。ここで、反射面122に反射される毎に透過光が発生することになる。従って、例えば、入力光77が反射面124の領域A2、A3、A4で反射した直後に反射面122で反射され、出力光Out2、Out3、及びOut4が生成される。点P2は、領域A2の周辺の点を示し、点P3は、領域A3の周辺の点を示し、点P4は領域A3の周辺の点を示す。出力光Out2は、光線R2によって示され、出力光Out3は、光線R3によって示され、出力光Out4は、光線R4によって示される。図8は、出力光Out0、Out1、Out2、Out3、Out4のみを示しているが、実際は、入力光77の強さや反射面122、124の反射率によってもっと多くの光が存在する。下記に詳細に示すが、出力光は互いに干渉して、入力光77の波長によって異なる方向を持つ光束を生成する。従って、光束を出力光Out1、Out2、Out3、Out4の干渉から生じた出力光として記述することが出来る。

【0045】図9は、本発明の実施形態に用いるVIP Aによる反射光の干渉を示す図である。図9によれば、焦点ライン78から進んでくる光は、反射面124によって反射される。前記の通り、反射面124の反射率はおおよそ100%であり、本質的にはミラーの機能を持つ。この結果、反射面122及び124が存在せず、その代わりとして出力光Out1が、光学的には焦点ラインI1から出射したものとして考えることが出来る。同様に、光学的には、出力光Out2、Out3、Out4が焦点ラインI1、I2、I3、I4からそれぞれ出射したものとして考えることが出来る。焦点ラインI2、I3、I4は、焦点ラインI0の虚像である。

【0046】従って、図9に示すように、焦点ラインI1は、焦点ラインI0から2tの距離にある。tは、反射面122と124との距離を表す。同様に、そのあとに続く各焦点ラインは、その直前の焦点ラインから2tの距離にある。従って、焦点ラインI2は、焦点ラインI1から2tの距離にある。更に、反射面122、反射面124の間に生じる後続の多重反射によって、直前の出力光よりも弱い出力光が発生する。従って、出力光Out2の強度は、出力光Out1よりも弱い。

【0047】図9に示すように、焦点ラインからの出力光は、重なり、干渉し合う。更に詳しくは、焦点ラインI1、I2、I3、I4は、焦点ラインI0の虚像であるので、出力光Out0、Out1、Out2、Out3、Out4は、焦点ラインI1、I2、I3、I4で同じ光位相を持つ。従って、干渉により、入力光77の波長によって異なる方向に進む光束が生じる。

【0048】本発明の実施形態で用いるVIP Aには、VIP Aの設計上の特性である強め合いの条件が含まれている。この強め合いの条件満たされることによって、出力光の干渉が光を強め合うように働き、光束が形成される。VIP Aの強め合いの条件は、次の数式(1)で表される。

$$【0049】2t \times \cos \phi = m\lambda \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $\phi$ は、形成された光束の、反射面122及び124に垂直な線から見た伝搬方向を示す。 $\lambda$ は、入力光の波長を示す。tは、反射面122と124の間の距離を示す。mは、整数を示す。

【0050】従って、tが定数で、mに特定の値が与えられている場合には、波長 $\lambda$ の入力光に対して形成される光束の伝搬方向 $\phi$ が決定する。更には、入力光77は、焦点ライン78から特定の角度で放射状に拡散する。従って、同じ波長の入力光は、焦点ライン78から多くの異なる方向に進み、反射面122及び124の間で反射する。VIP Aの強め合いの条件によって、ある特定の方向に進む光は、出力光の干渉を通じて強め合い、入力光の波長に対応する方向の光束を形成する。強め合いの条件に基づく特定の方向とは異なる方向に進む光は、出力光の干渉によって弱められる。

【0051】図10は、図6に示すVIP Aの直線IX-IXの横断面を示す図であり、本発明の一実施形態で用いる入力光の入射角または傾き角を決めるVIP Aの特性を示す図である。

【0052】図10によれば、入力光77は、円筒レンズ(図示しない)によって集光され、焦点ライン78に集光される。図10に示すように入力光77は、照射ウィンドウ126の「a」に等しい幅の領域をカバーする。入力光77が反射面122に一度反射された後、入力光77は、反射面124に入射し、反射面124の「b」に等しい幅の領域をカバーする。更に、図10に示すように、入力光77は、反射面122の垂線に対して $\theta 1$ の傾き角を持つ光軸132に沿って進む。

【0053】傾き角 $\theta 1$ は、入力光77が反射面122によって一度反射された後、照射ウィンドウ126を通過してプレートからはずれた位置に出してしまわないように値に設定しなければならない。すなわち、傾き角 $\theta 1$ は、入力光77が反射面122と反射面124の間に取込まれた状態になり、照射ウィンドウ126から漏れでないように設定しなければならない。従って、入力光77が照射ウィンドウ126を通過してプレートから外れ



ないようにするために、傾き角 $\theta 1$ は、次の数式(2)に従って設定する。

【0054】

光軸の傾き角 $\theta 1 \geq (a+b)/4t \cdots \cdots (2)$

従って、図6～10に示すように、本発明の実施形態では、連続する波長領域内の各波長を持つ入力光を受光するVIPAを備えている。VIPAは、入力光の多重反射によって自己干渉が行われるようにし、その結果として出力光を形成する。出力光は、連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光とは空間的に区別できる。例えば、図8に、反射膜122と124の間で多重反射を生じる入力光77を示している。この多重反射によって、互いに干渉し、入力光77の各波長に対して空間的に区別することの出来る光束を生成する、複数の出力光Out0、Out1、Out2、Out3、Out4を生成する。

【0055】「自己干渉」とは、同じ光源から発生した複数の光または光線の間に生じる干渉である。従って、出力光Out0、Out1、Out2、Out3、Out4は全て同じ光源（すなわち、入力光77）から発生しているので、出力光Out0、Out1、Out2、Out3、Out4の干渉は、入力光77の自己干渉と呼ばれる。

【0056】本発明の実施形態では、入力光は連続する波長範囲内の任意の波長であってよい。このように、入力光は、不連続の値の範囲から選択した値の波長に限定されることはない。更に、本発明の実施形態によると、連続する波長範囲内の特定の波長の入力光に対して生成される出力光は、入力光が連続する波長範囲内の異なる波長であった場合に生成される出力光とは、空間上で区別される。

【0057】したがって、例えば、図6に示すように、光束82の進行方向（すなわち「空間特性」）は、入力光77が連続する波長範囲内の異なる波長であった場合には異なる。

【0058】図11は、本発明の実施形態で用いるVIPAの作製方法を示す図である。図11(A)によれば、平行板164は、ガラス製であることが望ましく、優れた平行性を持つ。反射膜166、168は、真空蒸着、イオンビームアシスト蒸着、スパッタリング、などの方法により、平行板164の両面に備えられる。反射膜166、168の一つは、反射率が100%であり、他の一つは反射率が100%より小さく、80%より大きいことが望ましい。

【0059】図11(B)によれば、反射膜166、168の一つは、一部削られて照射ウィンドウ170を形成する。図11(B)で示す反射膜166は削られ、照射ウィンドウ170が平行板164の反射膜166と同じ表面に形成されるようにする。ただし、その代わり、反射膜168は、一部を削って照射ウィンドウが平行板

164上の反射膜168と同じ面に形成されるようにしてもよい。本発明の各種の実施形態に示すように、照射ウィンドウは、平行板164のどちら側にも形成することができる。

【0060】反射膜は、エッチング処理で削ることもできるが、機械的な切削処理を使用することもでき、この場合費用も少ない。ただし、反射膜を機械的に切削する場合には、平行板164を慎重に処理し、平行板164への損傷を最小にしなければならない。例えば、照射ウィンドウを形成する平行板164部分の損傷が大きい場合には、平行板164は受け取った入力光の拡散によって過剰な損失を受けることになる。

【0061】最初に反射膜の形成及び切削を行う代わりに、事前に平行板164の一部を照射ウィンドウに対応してマスキングし、その部分を反射膜で覆われないようにして照射ウィンドウを作成することもできる。

【0062】図11(C)によれば、透明接着剤172を反射膜166、及び反射膜166を取り除いた平行板164の一部に塗る。透明接着剤172は、照射ウィンドウを形成する平行板164の一部に設けるので、光の損失が最小限になるものである。

【0063】図11(D)によれば、透明保護板174は、透明接着剤172を塗布した上に載せ、反射膜166及び平行板164を保護する。透明接着剤172は、反射膜166を取り除いて凹んだ部分を満たすように塗布するため、透明保護板174は、平行板164の上部表面に平行に備えられる。

【0064】同様に、反射膜168を保護するため、接着剤（図示しない）を反射膜168の上部表面に塗布し、保護板（図示しない）を備えなければならない。反射膜168がおおよそ100%の反射率であり、同じ平行板164の表面上に照射ウィンドウがない場合には、接着剤および保護板は透明である必要はない。

【0065】更に、反射防止膜176を透明保護板174に塗布することもできる。たとえば、透明保護板174および照射ウィンドウ170は、非反射膜176で覆うことができる。

【0066】本発明の前記実施形態では、焦点ラインは、照射ウィンドウ上、または入力光が入る、平行板の反対側表面にあるものとされるが、焦点ラインは平行板内または照射ウィンドウの前であってもよい。

【0067】本発明の前記実施形態では、二つの反射膜は間にある光を反射し、その反射膜の一つの反射率はおおよそ100%である。ただし、同様の効果は、それぞれ100%未満の反射率を持つ二つの反射膜によっても得られる。例えば、二つの反射膜が、反射率95%であってもよい。この場合には、それぞれの反射膜は、光を透過し、干渉を生じる。その結果、波長によって進む方向の異なる光束が、反射膜のある平行板の両面に形成される。このように、本発明の様々な実施形態の様々な反射

率は、VIP Aに要求される特性に従って変えることができる。

【0068】本発明の前記実施形態に用いるVIP Aは、多重反射を利用し、干渉光の間の一定の位相差を維持する。その結果、VIP Aの特性は安定し、それによって偏光によって生じる光学的特性の変化を小さくすることができる。

【0069】本発明の前記実施形態によれば、互いに空間的に区別可能な光束を与えることができる。「空間的に区別可能な」とは、光束が空間的に区別することができることを意味する。例えば、各種の光束は、平行であり、異なる方向に進む場合、または異なる位置に集光される場合には、空間的に区別することができるという。ただし、本発明はこれらの詳細な例に限定されことなく、光束を互いに空間的に区別することのできる方法は他にも多数ある。

【0070】図12は、波長分散を生じさせるために、回折格子ではなく、VIP Aを角分散部として使用する従来の装置を示す図である。図12によれば、VIP A240は、例えばおよそ100%の反射率を持つ第1の表面242と、およそ98%の反射率をもつ第2の表面244とを持つ。VIP A240は、また照射ウィンドウも含む。VIP A240は、この構成には限定されず、多くの異なる構成が可能である。

【0071】図12に示すように、光はファイバ246から出力され、コリメートレンズ248によってコリメートされ、照射ウィンドウ247を通して筒型レンズ250によってVIP A240に線状に集光される。それから、VIP A240は、焦点レンズ252によってミラー254に集光されるコリメート光251を生成する。ミラー154は、基板258上に形成されるミラー部分256であってもよい。

【0072】ミラー254は、光を反射し、焦点レンズ252を通してその光をVIP A240に送る。それから、その光は、VIP A240内で多重反射し、照射ウィンドウ247から出力される。照射ウィンドウ247から出力された光は、筒型レンズ250及びコリメートレンズ248を通り、ファイバ246に受光される。

【0073】従って、光は、VIP A240から出力され、ミラー254に反射されてVIP A240に戻る。ミラー254に反射された光は、もと進んできた経路と正反対の経路を進む。以下に詳細に記述するように、光の異なる波長成分は、ミラー154上の異なる地点に焦点を持ち、反射してVIP A240に戻る。その結果、異なる波長成分は、異なる距離を進み、波長分散を生じる。

【0074】図13は、図12のVIP Aの動作原理を更に詳細に示す図である。様々な波長成分を持つ光がVIP A240に受け取られるものと仮定する。図13に示すように、VIP A240はビームウエスト262の

虚像260を形成し、虚像260は光を発する。図13に示すように、焦点レンズ252は、VIP A240からのコリメート光の異なる波長成分の焦点をミラー254上の異なる点に集光させる。更には、長い方の波長264は点272に、中心波長266は点270に、短い方の波長268は点274に、それぞれ集光する。そこで、長い方の波長264は、中心波長266と比較して、ビームウエスト262により近い虚像260に戻る。短い方の波長268は、中心波長266と比較して、ビームウエスト262から遠い方の虚像260に戻る。このような配列によって、正常分散を生じる。

【0075】ミラー254は、特定の干渉次数の光だけを反射し、他の干渉次数の光は、ミラー254から外に集光される。更には、前記の通り、VIP Aがコリメート光を出力する。このコリメート光は、各虚像からの経路が $m\lambda$ の差を持つ方向に進む。ここで、 $m$ は整数を示す。 $m$ 番目の干渉次数は、 $m$ に対応する出力光と定義する。

【0076】例えば、図14は、VIP Aの各種の干渉次数を示す図である。図14によれば、VIP A240などのVIP Aは、コリメート光276、278、280を発する。それぞれのコリメート光276、278、280は、異なる干渉次数に対応している。従って、例えば、コリメート光276は、 $(n+2)$ 番目の干渉次数のコリメート光に対応しており、コリメート光278は、 $(n+1)$ 番目の干渉次数のコリメート光に対応しており、コリメート光280は、 $n$ 番目の干渉次数のコリメート光に対応している。ここで、 $n$ は整数を示す。コリメート光276は、複数の波長成分276a、276b、276cを持つものとして示されている。同様に、コリメート光280は、波長成分280a、280b、280cを持つものとして示されている。ここで、波長成分276a、278a、280aは、同じ波長である。波長成分276b、278b、280bも同じ波長を持つ（波長成分276a、278a、280aの波長とは異なる）。図14には、3つの異なる干渉次数のコリメート光を示しているだけであるが、コリメート光は、他の干渉次数に対しても発光される。

【0077】異なる干渉次数に対して同じ波長で異なる方向にコリメート光が進み、異なる位置に集光されるので、ミラー254は、単一の干渉次数からの光のみを反射してVIP A240に戻すようにすることができる。例えば、図14に示すように、ミラー254の反射部分の長さは、比較的小さく作成してあり、単一の干渉次数に対応する光のみが反射される。更には、図14では、コリメート光278のみがミラー254に反射される。このように、コリメート光276、280は、ミラー254から外に集光される。

【0078】波長多重光は、普通は多数のチャネルを含んでいる。図12を再度参照すると、VIP A240の

第1の表面242と第2の表面244の間の厚さ $t$ が特定の値に設定される場合には、その構成で各チャンネルでの分散が同時に補償される。

【0079】更に詳しくは、各チャンネルには中心波長がある。中心波長は、普通は一定の周波数間隔で互いに離れている。VIPA240の第1の表面242と第2の表面244の間の厚さ $t$ は、中心波長に対応する全ての波長成分がVIPA240から同じ出射角で出力されるように設定し、ミラー254上で同じ焦点位置を持つようにしなければならない。これは、中心波長に対応した波長成分が進むVIPA240上の往復の光の進行距離が、各チャンネルの中心波長の倍数となるように、厚さ $t$ を各チャンネルに対して設定した場合に可能となる。この厚さ $t$ の大きさは、以下では「WDMマッチングフリースペクトル範囲の厚さ」または「WDMマッチングFSRの厚さ」と呼ぶ。

【0080】更に、この場合には、VIPA240を介した往復の光の進行距離( $2nt\cos\theta$ )は、同じ $\theta$ で異なる整数に対する各チャンネルの中心波長に整数をかけた波長に等しい。ここで $n$ は、第1の表面242と第2の表面244の間にある部材の屈折率であり、 $\theta$ は各チャンネルの中心波長に対応する光束伝搬方向を示す。更には、前記の通り、 $\theta$ は、入力光の光軸の傾き角を示す(図7参照)。

【0081】従って、各チャンネルでの中心波長に対応する波長成分に対して、 $2nt\cos\theta$ が、同じ $\theta$ で異なる整数に対する各チャンネルの中心波長の整数倍に等しくなるように $t$ を設定した場合には、中心波長に対応する全ての波長成分は、VIPA240から同じ出射角を持ち、ミラー254上で同じ焦点位置を持つ。

【0082】例えば、往復で2mmの物理的長さ(VIPA240の厚さ1mmの約2倍)及び屈折率1.5であれば、100GHz間隔の全ての波長がこの条件に合う。その結果、VIPA240は、波長多重光の全てのチャンネルで同時に分散を補償することができる。

【0083】従って、図13によると、厚さ $t$ をWDMマッチングのFSRの厚さに設定した場合、VIPA240及び焦点レンズ252は、(a)各チャンネルの中心波長に対応する波長成分をミラー254上の点270に集束させ、(b)各チャンネルの長い波長の要素に対応する波長成分をミラー254上の点272に集束させ、(c)各チャンネルの短い波長の成分に対応する波長成分をミラー254上の点274に集束させることができる。従って、VIPA240を使用して波長多重光の全てのチャンネルで波長分散を補償することができる。

【0084】図15は、本発明の実施形態によって、厚さ $t$ が、WDMマッチングのFSRの厚さに設定される場合の、波長多重光の幾つかのチャンネルの分散量を示すグラフである。

【0085】図15に示すように、全てのチャンネルに同

じ分散が見られる。ただし、分散はチャンネル間で連続してはいけない。更に、VIPA240が分散を補償する各チャンネルの波長範囲は、ミラー254のサイズを適切に設定することによって設定することができる。

【0086】図16(A)および図16(B)は、ミラーの形状によって波長分散が異なることを説明するための光に波長分散の各値を与えるためにVIPAを使用する、装置の側面図である。

【0087】図16(A)及び図16(B)は、図13と、ビームウエスト262の虚像260によって発する光の長い方の波長264、中心波長266、及び短い方の波長268の進行方向を示す点で類似している。

【0088】図16(A)によれば、ミラー254は、凸ミラーである。凸ミラーを使用すると、ビームシフトは拡大する。従って、短い焦点距離、かつ、小さい間隔で、大きな色分散が得られる。ミラー254が凸型の場合には、図16(A)に示すように、その凸型は、側面からのみ見え、上から見た時には見えない。

【0089】図16(B)によれば、ミラー254は、凹ミラーである。凹ミラーを使用すると、分散の符号は反転する。従って、短い焦点距離、かつ、小さい間隔で、異常分散が生じる。ミラー254が凹型の場合には、図16(B)に示すように、その凹型は、側面からのみ見え、上から見た時には見えない。

【0090】従って、通常は、ミラー254は上から見ると平面に見える。ただし、ミラー254も上から見たとき凹又は凸ミラーに回転すれば、それが一次元ミラーであることを示すことができる。

【0091】図16(A)及び図16(B)では、ミラー254は焦点レンズ252の焦点又は焦点に近い点に配置する。従って、前記の通り、例えば、図16(A)及び図16(B)にそれぞれ示すように、ミラー254は側面から見て、凸型または凹型にすることができる。凸ミラーは波長分散を進行させ、凹ミラーは波長分散を減少させるか、または負(通常)から正(異常)に反転することができる。更に詳しくは、凸ミラーは、負の方向に大きい分散を生じ、凹ミラーは、負の方向に小さい分散を生じるか、又は分散を正に反転する。これは、色分散の強さが、側面から見たミラーの曲率の関数に等しいことによって実現する。

【0092】図17は、光束の波長に対するVIPA240からの光束の出射角を示すグラフである。図17から分かるように、出射角に対する波長変化は線形ではない。

【0093】波長とVIPAによって生成された光束の出射角との関係は線形ではないので、ミラー254として平面ミラー、通常の凸面ミラー、または通常の凹面ミラーを使用している限りは、波長分散は一つの波長帯域で一定にはならない。この波長分散における非線形は、上位の分散とされる。

【0094】一般に、図16(A)及び図16(B)に示す装置について、波長分散における非線形は、次の数式(3)によって理解することができる。

$$(\text{角分散}) \cdot (1 - f \cdot (1/R)) \propto \text{波長分散}$$

ここで、 $f$ は、焦点レンズ252の焦点距離を示し、 $R$ は、ミラー254の曲率半径を表す。

【0095】図18は、光束の波長に対するVIPA240の角分散を示すグラフである。一般に、図18の曲線284は、図17の曲線282の傾斜を表したものである。図18から分かるように、角分散は一定ではない。その代わり、角分散は、波長の変化に応じて変化する。

【0096】図19は、波長に対して数式(3)の $(1 - f \cdot (1/R))$ の部分を示すグラフである。更に詳しくは、直線286は、平面ミラーの場合の波長に対する $(1 - f \cdot (1/R))$ のグラフである(曲率半径は、“ $\infty$ ”(無限大))。直線288は、凹面ミラーの場合の波長に対する $(1 - f \cdot (1/R))$ のグラフである(曲率半径は、“+”)。直線290は、凸面ミラーの場合の波長に対する $(1 - f \cdot (1/R))$ のグラフである(曲率半径は、“-”)。図19に示したとおり、それぞれのミラーは、一定の曲率半径を持つ。

【0097】図20は、図16(A)および図16(B)などのような装置の波長に対する波長分散を示すグラフである。ここでは、ミラー254は、一般的な球面の凸面ミラー、平面ミラー、及び球面の凹面ミラーである。更に詳しくは、曲線292は、ミラー254が凸面ミラーである場合の波長に対する波長分散を表す曲線である。曲線294は、ミラー254が平面ミラーである場合の波長に対する波長分散を表す曲線である。曲線296は、ミラー254が凹面ミラーである場合の波長に対する波長分散を表す曲線である。

【0098】一般的に、曲線292、294、296は、前記数式(3)に表されるように、それぞれ図18に示す角分散と、図19の適当な直線との積をそれぞれ表している。更に詳しくは、曲線292は図18に示す曲線284と、図19に示す直線290の積を表している。曲線294は、図18に示す曲線284と、図19に示す直線286の積を表している。曲線296は、図18に示す曲線284と、図19に示す直線288の積を表している。

【0099】図20から分かるように、ミラー256として一般的な球面の凸面ミラー、平面ミラー、または球面の凹面ミラーが使用されても、波長分散は一定ではない。このような波長分散の波長依存性は、ミラー254の曲率をチャージングすることによって減少させるか、または取り除くことができる。

【0100】図21は、波長に対する数式3の $(1 - f \cdot (1/R))$ の曲線298を示すグラフである。一般には、図21の曲線298は、図18の曲線284を反

転したものである。従って、図22の曲線300に示すように、図21の特性を持つミラーは、一定の波長分散を生じる。

【0101】例えば、図23は、数式3を満たし、かつ波長分散値が $-2500 \text{ ps/nm}$ となるような分散ミラーの形状(断面)の一例を示す図である。図23から分かるように、ミラーの形状は非球面になっている。VIPAの角分散は、この断面に平行な方向になるように、VIPAとミラーは空間的に配置されている。ここで、波長分散をある特定の値(例えば $-2500 \text{ ps/nm}$ )にするためには、ミラーの形状は、この断面に垂直な方向には同じ形状(すなわちシリンドリカル型)で有ればよい。ただし、断面に垂直な方向には光は波長によらずレンズにより焦点を結んでいるため、断面に垂直な方向にあまり長さを取る必要はない。

【0102】更に、本発明の実施形態では、異なる波長分散を与えるために、非球面ミラーの形状を前記断面に垂直な方向、すなわちVIPAの角分散方向に対して垂直な方向に対して、徐々に形状が変わるような3次元の非球面ミラーとする。具体的には、図24のような形状であり、分散値 $-500 \text{ ps/nm}$ 及び $+1500 \text{ ps/nm}$ となるような位置では断面は図25のような形状となっている。図25のように、与える分散値が負から正になるに従い、非球面の凸面から非球面の凹面に変化している。なお、分散値零ではほぼ平面に近い形状になっている。VIPAから角分散された光がこのような3次元の非球面ミラーにあたる位置によってあたえられる波長分散は異なることになる。

【0103】また、このような3次元の非球面ミラーを作成することは、現有の加工技術をもってすれば困難ではなく、ダイヤモンド製のバイトと精密な可動ステージを有する精密な3次元加工機でAlや真鍮などの金属を加工すれば良い。このような削り加工したミラーは一般に高価となることが多いので、必要な形状とは反転した形状を有する金型を加工し、その金型を用いて、プラスチックや低融点ガラス、ゾルゲルガラスなどで転写成形した後、AuやAlなどの金属や誘電体多層膜をその上に成膜してミラーを形成すれば良い。この他、イオンビームエッチングと厚さの異なるレジストを用いてこのような3次元形状を得ることもできる。

【0104】更に、実際に波長分散を可変するためには、前記3次元の非球面ミラーを前記断面に垂直な方向、すなわち、VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に可動させる手段が必要となる。すなわち、本発明の実施形態では、VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に前記3次元の非球面ミラーを可動させる手段を有する。可動させる手段は、例えばリニアスライダとモータなどで主に構成することができるが、リニアスライダの代わりに微動台を、モータの代わりにアクチュエータなどを用いることもでき、これらに限定されるもので

はない。

【0105】以上、ここまで説明してきた本発明の実施形態では、角分散の大きいVIPAを用いることで実用的な大きさで波長分散補償を行うこと、VIPAの厚さをWDMマッチングのFSRの厚さに設定することにより、波長分割多重光のすべてのチャンネルで同時に分散を補償すること、ミラーの形状を最適な非球面にすることにより波長分散の波長依存性を低減する、すなわち、波長分散を略一定にすること、更に、ミラーの形状を3次元の非球面ミラーとし、かつ前記3次元の非球面ミラーを可動させることにより、波長分散を可変することなどは可能となるが、波長分散スロープを前記波長分散とは独立に可変する事は実現できない。

【0106】そこで、以下の本発明の実施形態では、波長分散と波長分散スロープを独立に可変する事が出来る構成について説明する。図26は、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための原理構成を示す図である。

【0107】本原理図においては、VIPAとレンズと3次元ミラーを設けると共に、更に前記レンズと前記ミラーとの間に、VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に、各々の波長によって平行に光路ずれを生じさせる手段と、光路ずれ量を可変する手段とを設ける。本原理によれば、VIPAの角分散方向に対して垂直な方向、すなわち、前記ミラーの可動方向に波長によって平行に光路ずれを生じるので、波長によって波長分散を変える、すなわち、波長分散スロープを生じさせることができる。また、光路ずれ量を可変することができる。また、前記3次元非球面ミラーにおいて、与える波長分散の変化が決まっているので、波長分散スロープの正負を変えるためには、波長によって光路ずれが起こる方向を逆にすればよい。

【0108】次に、VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に、各々の波長によって平行に光路ずれを生じさせる具体的手段と、光路ずれ量を可変する具体的手段について、いくつか例を挙げ説明する。

【0109】図27、図28は、本発明の上記原理に基づく実施形態を示す図である。図27(A)に示されるように、側面から見ると、VIPA307からの出力光は、波長によって異なる方向に送出される。これをレンズ308で集束し、平行平板310を介して、3次元ミラー309に当てる。すると、波長によって3次元ミラー309上の異なる点にあたるようになるので、波長によって異なる分散が与えられ、分散補償がなされる。図27(B)は、VIPA307の角分散方向から見た図であり、この図においては、波長の異なる光は図面に垂直な方向に分散される。

【0110】本実施形態では、レンズ308とミラー309との間に平行平板310が挿入されている。平行平板は使用する波長帯域で比較的大きな屈折率波長分散を

有する透明材料からなり、具体的には例えば多結晶Siからなる。なお、他にはGeやGaAsなども用いることができる。また、平行平板の両面には誘電体多層膜からなる反射防止膜が形成されている。

【0111】ここで、図28(A)に示すように平行平板310を、レンズ8からの出力光に対して、VIPA307の角分散方向312に対して垂直な方向に角度313をつけると、数式4のスネルの法則に従って各波長における屈折率に応じて光の屈折する角度が異なり、結果としてVIPA307の角分散方向312に対して垂直な方向に、各々の波長によって平行に光路ずれ314を生じさせる。この光路ずれによって、各波長によって光が3次元ミラー309のどの点に当たるかをVIPA307の角分散とは独立に制御できることになる。従って、VIPA307によって角分散された各波長の光を3次元ミラー309に当てて、反射光を再びVIPA307に入れることによって、波長全体にわたって、所定の分散量を与えることが出来た前述の実施形態に加え、各波長の光を、VIPA307の角分散方向とは垂直な方向にずらして3次元ミラー309に当てることによって、各波長に与えられる分散量を独立に制御することが出来る。これにより、波長分散スロープを波長分散量と独立に制御することが可能となる。

【0112】

$$n1 \times \sin \theta 1 = n2 \times \sin \theta 2 \cdots \cdots (4)$$

$n1$  : 入射媒質の屈折率、 $\theta 1$  : 入射角度、 $n2$  : 出射媒質の屈折率、 $\theta 2$  : 出射角度

更に、前記角度313を変えることにより、前記光路ずれ量314を可変することが可能となる。なお、前記角度313を変えることにより、前記光路ずれ量314が変化し、波長分散スロープを変化させることができるが、同時に光路自体も全体にずれ、波長分散も変化してしまうため、適切な波長分散を与えるようにミラー309を移動させる必要がある。このように適当な波長分散及び波長分散スロープを与えるためには前記角度とミラーの位置を同時に動かさなくてはならない。前記角度を変える方法は、例えば、回転モータなどを用いればよく、特に限定されるものではない。

【0113】また、図28(B)に示すように前記角度を方向Aまたは方向Bのどちら側に変えるかによって、波長によって光路ずれが起こる方向が変わり、分散スロープの正負を逆転させることが可能である。また、前記平行平板の数は1つに限定されるものではなく、複数合っても良い。また、本実施形態で用いているSiなどは特に屈折率の温度特性が $1.5 \times 10^{-4}$  (1/°C)と大きく、周囲の温度変化がある場合は温度によって光路ずれが変化するおそれがあるが、前記平行平板の温度を制御する制御装置を更に備えることにより解決できる。温度を制御する制御装置とは、少なくとも白金抵抗やサーミスタなどの温度センサとヒータやペルチェ素子などの加

熱・冷却素子とを具備し、温度センサから得られた温度の値を一定に保つように加熱・冷却素子を制御する制御回路を具備すれば良い。

【0114】ここで、例えば波長1528nmと1563nmではSiの屈折率はそれぞれ3.47958、3.47666であり、屈折率差は0.003程度と小さい。このため、例えばSiの板厚が50mm、角度を40度付けたとしても光路ずれ量は最大8μm程度であり、前記3次元の非球面ミラーが1mm当たり2000ps/nmと大きく変化するようにしたとしても最大12ps/nm程度の波長分散の変化量しか与えられない。

【0115】次に、上記実施形態の問題点を改善するための本発明の別の実施形態を説明する。図29は、本発明の実施形態を示す図である。

【0116】本実施形態では、レンズ308とミラー309との間に大きな屈折率波長分散を有する透明材料からなる2枚のプリズム315、316を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上のプリズム対317が挿入されている。プリズム315、316は使用する波長帯域で比較的大きな屈折率波長分散を有する透明材料からなり、具体的には例えば多結晶Siからなる。なお、他にはGeやGaAsなども用いることができる。プリズム315、316の両面には誘電体多層膜からなる反射防止膜が形成されている。ここで、第1のプリズム315で屈折した光は、第1のプリズム315に対して平行かつ点対称の位置に配置された第2のプリズム316により、再度逆の方向に同じだけ屈折されるので、結果的にプリズム対317を通過しても光は同じ方向に進む。VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に光が進めば、ミラー309で反射された光はまた同様の光路を元に戻り、損失は生じない。

【0117】ここでまた、数式4から明らかなように、プリズム315、316のプリズム角と屈折率に応じて、プリズム315、316によって光が屈折する角度が変わる。本実施形態では、各波長における屈折率が異なるため、第1のプリズム315によって、各波長の光は屈折する角度が異なり、第2のプリズム316により、再度逆の方向に同じだけ屈折されるので、結果的にVIPAの角分散方向に対して垂直な方向に、各々の波長によって平行に光路ずれ319が生じる。

【0118】更に、図30に示すように一方のプリズム316を、平行を保ったまま移動させるなどして、プリズム対317の間隔318を変えることにより、光路ずれ量319を可変する事が出来る。なお、前記プリズム対317の間隔318を変えることにより、前記光路ずれ量319が変化し、波長分散スロープを変化させることが出来るが、同時に光路自体も全体にずれ、波長分散も変化してしまうため、適切な波長分散を与えるようにミラー309を移動させる必要がある。このように適当

な波長分散及び波長分散スロープを与えるためには前記プリズム対317の間隔318とミラーの位置を同時に動かさなければならない。前記プリズム対317の間隔を変える方法は、前述したミラーの可動手段と同様に様々な手段を用いることが出来、特に限定されるものではない。また、図31に示すように、該プリズム対317を光路に対して180度回転させることにより、波長によって光路ずれを生じさせる方向を逆にさせ、波長分散の傾き（波長分散スロープ）の正負を変えることも可能である。前記プリズム対317を回転させる方法は、例えば、回転モータなどを用いればよく、特に限定されるものではない。また、本実施形態で用いているSiなどは特に屈折率の温度特性が $1.5 \times 10^{-4}$  (1/°C)と大きく、周囲の温度変化がある場合は温度によって屈折率が変化し、光路ずれが変化するおそれがあるが、前記プリズムの温度を制御する制御装置を更に備えることにより解決できる。なお、温度を制御する制御装置とは、少なくとも白金抵抗やサーミスタなどの温度センサとヒータやペルチェ素子などの加熱・冷却素子とを具備し、温度センサから得られた温度の値を一定に保つように加熱・冷却素子を制御する制御回路を具備すれば良い。

【0119】ここで、例えば、波長1528nmと1563nmではSiの屈折率は前述したように、それぞれ3.47958、3.47666であり、屈折率差は0.003程度と小さい。このため、例えばプリズム角が14度、プリズム対の間隔が50mmだとしても光路ずれ量は最大12μm程度であり、前記3次元の非球面ミラーが1mm当たり2000ps/nmと大きく変化するようにしたとしても最大25ps/nm程度の波長分散の変化量しか与えられない。

【0120】更に、上記実施形態の問題点を解決するための本発明の別の実施形態を説明する。図32は、本発明の実施形態を示す図である。

【0121】本実施形態では、レンズ308とミラー309との間に、VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に角分散を有する2枚の回折格子320、321を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対322が挿入されている。本実施形態では、回折格子320、321として使用する波長帯域で比較的大きな角分散を有し、かつ使用する波長帯域、所定の角度で1次の回折効率が高い透過型のブレースドグレーティングを用いる。ブレースドグレーティングは、ガラスを直接イオンビームエッチングで加工したり、ガラスや金属を研削して加工してマスター型を作り、ガラス基板上に樹脂層を転写成形しても得られる。また、回折格子320、321の両面には誘電体多層膜からなる反射防止膜が形成されている。

【0122】ここで、レンズ308からの出力光は、第1の回折格子320により、数式5を満足するような方向に回折され、光路が曲がる。このとき、数式6に示す

スネルの法則を満足する角度に回折する波長は最も回折効率が高く、この波長はブレース波長と呼ばれる。回折格子320、321は、使用する波長帯域がブレース波長にほぼ合致するようにブレース角や屈折率が適切に選ばれている。更に、回折して曲がった光は、第1の回折格子320に対して平行かつ点対称の位置に配置された第2の回折格子321により、再度逆の方向に同じだけ回折されて曲がるので、結果的に回折格子対322を通過しても光は同じ方向に進む。VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に光が進めば、ミラー309で反射された光はまた同様の光路を元に戻り、損失は生じない。

【0123】ここでまた、数式5から明らかなように、回折角は波長によって変わり、第1の回折格子320によって、各波長の光は回折する角度が異なり、第2の回折格子321により、再度逆の方向に同じだけ回折されるので、結果的にVIPAの角分散方向に対して垂直な方向に、各々の波長によって平行に光路ずれ324が生じる。

【0124】

$$\sin \beta = N \times m \times \lambda \cdots \cdots (5)$$

$$n \times \sin \theta b = \sin (\theta b + \beta) \cdots \cdots (6)$$

$\beta$  : 回折角、 $N$  : 単位長さ当たりの溝本数、 $m$  : 次数、 $n$  : 屈折率、 $\theta b$  : ブレース角

更に、図33に示すように一方の回折格子321を、平行を保ったまま移動させるなどして、回折格子対322の間隔323を変えることにより、光路ずれ量324を可変することができる。なお、前記回折格子対322の間隔323を変えることにより、前記光路ずれ量324が変化し、波長分散スロープを変化させることができるが、同時に光路自体も全体にずれ、波長分散も変化してしまうため、適切な波長分散を与えるようにミラー309を移動させる必要がある。このように適当な波長分散及び波長分散スロープを与えるためには前記回折格子対322の間隔323とミラーの位置を同時に動かさねばならない。前記回折格子対322の間隔323を変える方法は、前述したミラーの可動手段と同様に様々な手段を用いることが出来、特に限定されるものではない。また、図34に示されるように、該回折格子対322を光路に対して180度回転させることにより、波長によって光路ずれ324を生じさせる方向を逆にさせ、波長分散の傾き（波長分散スロープ）の正負を変えることも可能である。前記回折格子対322を回転させる方法は、例えば回転モータなどを用いれば良く、特に限定されるものではない。また、前記回折格子対322の数は1つに限定されるものではなく、複数あっても良い。また、一般に回折格子の回折角は温度依存性を有することが多く、周囲の温度変化がある場合は温度によって回折角が変化し、光路ずれが変化するおそれがあるが、前記回折格子の温度を制御する制御装置を更に備えることにより解決できる。なお、温度を制御する制御装置とは、少な

くとも白金抵抗やサーミスタなどの温度センサとヒータやペルチェ素子などの加熱・冷却素子とを具備し、温度センサから得られた温度の値を一定に保つように加熱・冷却素子を制御する制御回路を具備すれば良い。

【0125】本実施形態によれば、例えば溝本数400本/mm、回折格子の屈折率1.54、ブレース角39.4度とした場合、ブレース波長は1546nmとなり、その回折角は38.2度となる。例えば回折格子対の間隔が25mmと小さくても、波長1528nmと1563nmでは光路ずれ量は最大720μm程度と大きく、前記3次元の非球面ミラーが1つ当たり800ps/nmの変化であっても最大577ps/nm程度の波長分散の変化量を与えることが出来る。この分散スロープ補償量では、前述した0.06ps/nm<sup>2</sup>/kmの波長分散スロープを有する一般的なSMFで290kmに相当し、十分な補償量といえる。

【0126】なお、回折格子対322によって、波長に依存して光路ずれを起こした際に、波長による光路差がわずかに生じて波長分散がわずかに生じるが、VIPAによって生じる波長分散と比較して十分小さいので無視でき、仮に無視できない場合でも、その波長分散の分ミラー309の位置を調節して適切な波長分散を与えることは可能である。

【0127】また、波長分散の傾き（波長分散スロープ）の正負を変える他の方法について別の実施形態を説明する。図35は、本発明の実施形態を示す図である。

【0128】本実施形態では、VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有し、かつ逆方向に角分散を有する領域（例えばA、B）を少なくとも2以上有する2枚の回折格子325、326を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対327を用いる。本実施形態では、前述の実施形態と同様に、透過型のブレースドグレーティングを用いる。ここで、図36に示すように該回折格子対327を移動させることにより光を、逆方向に角分散を有するような異なる領域に当てることにより、逆方向の角分散を生じさせ、波長によって光路ずれ328を生じさせる方向を逆にする事により、波長分散の傾き（波長分散スロープ）の正負を変えることができる。前記回折格子対327を移動させる方法は、前述したミラーの可動手段と同様に様々な手段を用いることができ、特に限定されるものではない。回折格子に逆方向に角分散を有するような異なる領域を形成するには、例えば領域A、Bでブレース格子を逆向きに形成するだけでよい。

【0129】更に、波長分散を可変する他の方法についても別の実施形態を説明する。図37及び図38は、本発明の別の実施形態を示す図である。本実施形態では、VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有し、かつ角分散の異なる複数の領域を有する2枚の回折格子329、330を、互いに平行かつ点対称

に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対331を用いる。本実施形態では、前述の実施形態と同様に、透過型のブレースドグレーティングを用いる。回折格子に角分散の異なる複数の領域を形成するには、例えば領域によってブレース角と溝本数を変えることによって実現できる。ここで、該回折格子対331を移動させることにより光を、角分散の異なる領域に当てて異なる角分散を生じさせ、光路ずれ量332を可変し、波長分散を可変することができる。前記回折格子対331を移動させる方法は、前述したミラーの可動手段と同様に様々な手段を用いることができ、特に限定されるものではない。

【0130】前述した幾つかの実施形態では、回折格子として透過型のブレースドグレーティングを用いたが、それ以外の回折格子を用いることもできる。例えば、図39は、本発明の別の実施形態を示す図である。本実施形態では、回折格子として反射型のブレースドグレーティングを用いている。反射型のブレースドグレーティングの場合には、レンズ308からの出力光は、第1の回折格子333により、数式7を満足するような方向に回折され、光路が曲がる。このとき、数式8に示す反射の法則を満足する角度に回折する波長は最も回折効率が高く、この波長をブレース波長と呼ぶ。回折格子333、334は、使用する波長帯域がブレース波長にほぼ合致するようにブレース角が適切に選ばれている。回折して曲がった光は、基本的に透過型の回折格子と同様に、第1の回折格子333に対して平行かつ点対称の位置に配置された第2の回折格子334により、再度逆の方向に同じだけ回折されて曲がるので、結果的に回折格子対335を通過しても光は同じ方向に進む。VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に光が進めば、ミラー309で反射された光はまた同様の光路を元に戻り、損失は生じない。

【0131】ここでまた、数式7から明らかなように、回折角は波長によって変わり、第1の回折格子333によって、各波長の光は回折する角度が異なり、第2の回折格子334により、再度逆の方向に同じだけ回折されるので、結果的にVIPAの角分散方向に対して垂直な方向に、各々の波長によって平行に光路ずれ337が生じる。

【0132】

$$\sin \alpha + \sin \beta = N \times m \times \lambda \cdots (7)$$

$$\theta b = (\alpha + \beta) / 2 \cdots (8)$$

$\alpha$  : 入射角、 $\beta$  : 回折角、 $N$  : 単位長さ当たりの溝本数、 $m$  : 次数、 $\theta b$  : ブレース角

更に、反射型の回折格子であっても一方の回折格子334を、平行を保ったまま移動させるなどして、回折格子対335の間隔336を変えることにより、光路ずれ量337を可変することができる。

【0133】この他、矩形の回折格子や、cosカーブの回折格子、エシェロングレーティングなどを用いるこ

とができ、特に回折格子の種類に限定されるものではない。また、本実施形態では、図4のファイバ先に図1と同様のサーキュレータを挿入することにより、波長分散及び波長分散スロープが補償された出力光を取り出すことが出来る。

【0134】図40は、上記実施形態において、偏波依存損失を改善する構成を有する実施形態の図である。図40に示すグレーティング対342に向かってレンズ8から出射された光線は、ブレースドグレーティング340及び341と透過することにより、偏波依存性損失を付加される。この偏波依存性損失を補償するために350に示す偏光回転素子を設ける。3次元ミラー309によって反射し、往復する光線の偏光を復路では、偏光回転素子350によって90度直交させる。偏光回転機能を有する素子350、例えば $\lambda/4$ 波長板やファラデー回転子等である。

【0135】このように、偏波を往路と復路で90度回転させると、往路で受けた偏波依存損失と復路で受ける偏波依存損失とが異なった場合、往路と復路で全ての光に両方の損失を受けさせることにより、異なる偏波が受ける異なる偏波依存損失を平均化することが出来、偏波の違いによる損失の違い、すなわち、得られる光の強度の減少量を平均化することが出来る。

【0136】図41は、本発明の実施形態において光に与えられる波長分散補償量を連続的に変化させ、反転まで可能とするための構成を示す図である。図41(A)及び図41(B)に示す、2対のグレーティング362を配置する事により、グレーティング対362でグレーティング対342の波長分散スロープ可変範囲にオフセットを付加することにより、負の波長分散スロープから正の波長分散スロープを連続的に可変出来る機能を有することが可能となる。すなわち、グレーティング対362により波長の異なる光の光路にオフセットを与えた後、グレーティング対342の間隔343を適当に調整することにより、ある場合には、異なる波長の光の光路を交差させて出力し、3次元ミラー309に当てる事が出来る。また、間隔343を別の間隔に設定したときには、波長の異なる光の光路は交差せずに3次元ミラー309にあたることになる。このように、間隔343を調整することにより、波長の異なる光の光路のずれを調整することが出来るのみではなく、3次元ミラー309にあたる場所を入れ替えることが可能となる。これにより、各波長に与えられる波長分散量を可変する事が出来ると共に、波長分散量を入れ変えることが可能となる。このように、波長毎に与えられる波長分散量の値を制御することは、すなわち、波長分散スロープを変えることになる。

【0137】図42は、図41の実施形態の変形例である。図42(A)及び図42(B)に示す、図41(A)及び図41(B)のグレーティング361と34



0 機能を併せ持ったグレーティング 370 を用いることで、例えば 3 枚のグレーティングで波長分散スロープ可変範囲にオフセットを付加することにより、負の波長分散スロープから正の波長分散スロープを連続的に可変出来る機能を有することが可能になる。動作原理は図 41 の場合と同様であり、グレーティング 372 と 370 により与えられる各波長のオフセットにより、グレーティング 371 と 370 の間隔 343 を可変する事により、各波長の光が 3 次元ミラー 309 に当たる場所 344 を可変し、各波長の分散補償量を可変する事によって分散スロープを可変とする。

【0138】図 43 は、本発明の別の実施形態を示す図である。本実施形態では、回折格子として透過型のエシェロングレーティング（またはグリズムともいう）を用いている。透過型のエシェロングレーティングは、階段型の回折格子であり、直進する透過光でも階段状の段差で位相差が生じるので、数式 9 のように位相差を所定の波長の光が強め合う条件にすることにより、回折効率が最も高い光を直進光とすることが出来るものである。

【0139】このエシェロングレーティングを用いた場合には、レンズ 308 からの出力光は、第 1 の回折格子

$$n t - (t \times \cos \theta + d \times \sin \theta) = m \times \lambda \cdots (9)$$

$n$  : 屈折率、 $t$  : 段差、 $\theta$  : 回転角、 $d$  : 回折格子の間隔、 $m$  : 次数、 $\lambda$  : 波長

更に、一方の回折格子 439 を、平行を保ったまま移動させるなどして、回折格子対 440 の間隔 441 を変えることにより、光路ずれ量 442 を可変することができる。

【0142】なお、エシェロングレーティングの場合には、回折する方向がほぼ直進方向なので、前記回折格子対 440 の間隔 441 を変えることにより、前記光路ずれ量 442 が変化し、波長分散スロープを変化させたとしても、光路自体のずれがなく、波長分散が変化しないため、ブレースドグレーティングのように適切な波長分散を与えるようにミラー 309 を移動させる必要がない。また、ブレースドグレーティングの場合には、このように、回折角が大きいため、前記回折格子対の間隔を変えた時に、ミラー 309 に結ぶべき光の焦点位置が光路方向にずれることが問題となる場合があるが、エシェロングレーティングの場合には、回折する方向がほぼ直進方向なので、そうした焦点位置ずれの問題も生じない。

【0143】本実施形態によれば、例えば回折格子の間隔  $1 \mu\text{m}$ 、回折格子の段差  $3.44 \mu\text{m}$ 、回折格子の屈折率 1.45 とした場合、強め合う直進光の波長は  $1546 \text{ nm}$  となる。例えば回折格子対の間隔が  $25 \text{ mm}$  と小さくても、波長  $1528 \text{ nm}$  と  $1563 \text{ nm}$  では光路ずれ量は最大  $940 \mu\text{m}$  程度と大きく、前記 3 次元の非球面ミラーが  $1 \text{ mm}$  当たり  $800 \text{ ps/nm}$  の変化であっても最大  $750 \text{ ps/nm}$  程度の波長分散の変化量を

438 により、数式 9 を満足するような方向に回折され、光路が曲がる。このとき、回折格子 438、439 は、使用する波長帯域のおよそ中心波長が直進光となるように段差が適切に選ばれている。回折して曲がった光は、基本的にはブレースドグレーティングと同様に、第 1 の回折格子 438 に対して平行かつ点対称の位置に配置された第 2 の回折格子 439 により、再度逆の方向に同じだけ回折されて曲がるので、結果的に回折格子対 440 を通過しても光は同じ方向に進む。VIP A の角分散方向に対して垂直な方向に光が進めば、ミラー 309 で反射された光は、また同様の光路を元に戻り、損失は生じない。

【0140】ここでまた、数式 9 から明らかなように、回折角は波長によって変わり、第 1 の回折格子 438 によって、各波長の光は回折する角度が異なり、第 2 の回折格子 439 により、再度逆の方向に同じだけ回折されるので、結果的に VIP A の角分散方向に対して垂直な方向に、各々の波長によって平行に光路ずれ 442 が生じる。

【0141】

与えることができる。この分散スロープ補償量では、前述した  $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  の波長分散スロープを有する一般的な SMF で  $360 \text{ km}$  に相当し、十分な補償量といえる。

【0144】また、図 43 の実施形態は、図 41、42 のブレースドグレーティングをエシェロングレーティングに置き換えたものとして応用することも可能である。前述した幾つかの実施形態では、回折格子として透過型のブレースドグレーティングを用いたが、それ以外の回折格子を用いることもできる。

【0145】また、本発明の前記実施形態では、VIP A は、光を反射するための反射膜を持つ。例えば、図 7 は、光を反射する反射膜 122 及び 124 を持つ VIP A 76 を示す。ただし、VIP A を、反射面を提供するための膜として使用することには限定しない。その代わり、VIP A は適切な反射面を持っていなければならないが、膜である必要はない。

【0146】更に、本発明の前記実施形態では、VIP A は多重反射を生じる透明のガラス板を含む。例えば、図 7 は、反射面を持つ透明ガラス板 120 を備えた VIP A 76 を示す。ただし、反射面を隔離するために、VIP A をガラス部材、または任意のタイプの板のみに限定はしない。その代わり、反射面は、ある種のスペーサによって互いに隔離しておかなければならない。例えば、VIP A の反射面は、ガラス板を介在させなくても、“空気”によって隔離することが出来る。従って、反射面を、例えば、光ガラスまたは空気などの透明の部材によって隔離するものとして記述することができる。

【0147】また、VIPAの動作は、VIPAの反射面の間にある部材の厚さと屈折率によって異なる。更に、VIPAの動作波長は、VIPAの温度をコントロールすることによって正確に調整することができる。

【0148】以上説明したように、本発明の前記実施形態によれば、任意の波長分散及び波長分散スロープを生じさせ、実際に光ファイバに蓄積された波長分散及び波長分散スロープを多チャンネルの多波長領域において同時に分散補償する装置を提供することができる。このために、本発明の実施形態では、VIPAを特定の構成に限定しない。例えば、VIPAは、照射ウィンドウを持っていてもよく、VIPAの各表面の反射は、特定の例に限定されることはない。

【0149】(付記1) 光を受け取り、光を出力する複数の透過域を持ち、その透過域内で連続する波長を複数持つ入力光を受け取り、入力光の多重反射を行って、前記連続する波長範囲内の他の波長を持つ入力光に対して形成された出力光とは空間的に区別することの出来る出力光を形成し、自己干渉を行わせることにより、前記出力光を実質的に直線状の分散方向に、各々の波長によって異なる出力角度で分散させるバーチャリ・イメージド・フェーズド・アレイ(VIPA)と、VIPAによって形成される出力光を集束させるレンズと、集束した光を前記レンズに反射して戻し、前記レンズは、反射された出力光をVIPAに戻し、それによって反射された出力光がVIPA内で多重反射を受けて、VIPAから透過域を通じて出力されるようにするミラーであって、VIPAによる角分散方向に対して、VIPAからの出力光に各波長によらず略一定の波長分散を与えるような形状を有し、かつVIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に対して、異なる波長分散を与える形状を有しているミラーと、該レンズとミラーとの間に、VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に、各々の波長によって実質的に平行に光路ずれを生じさせる手段と、光路ずれ量を可変する手段とを備え、光路ずれ量に応じて波長分散スロープを、該波長分散とは独立に可変することを特徴とする装置。

【0150】(付記2) 前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向にミラーを可動し、該VIPAからの出力光に異なる波長分散を与えることのできる可動部を更に備えることを特徴とする付記1に記載の装置。

【0151】(付記3) 前記光路ずれを生じさせる手段が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、該光路ずれ量を可変する手段が、該回折格子対の間隔を変える手段であることを特徴とする付記1に記載の装置。

【0152】(付記4) 前記光路ずれを生じさせる手段

が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、該回折格子対を光路に対して180度回転させることにより、波長によって光路ずれを生じさせる方向を逆にさせ、波長分散の傾き(波長分散スロープ)の正負を変えると共に、該回折格子対の間隔を変えることにより光路ずれ量を可変することを特徴とする付記1に記載の装置。

【0153】(付記5) 前記光路ずれを生じさせる手段が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有し、かつ逆方向に角分散を有する領域を少なくとも2つ以上有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、該回折格子対を移動させることにより光を異なる領域に当てて逆方向の角分散を生じさせ、波長によって光路ずれを生じさせる方向を逆にすることにより、波長分散スロープの正負を変えると共に、回折格子対の間隔を変えることにより光路ずれ量を可変することを特徴とする付記1に記載の装置。

【0154】(付記6) 前記光路ずれを生じさせる手段が、前記VIPAの角分散方向に対して実質的に垂直な方向に角分散を有し、かつ角分散の異なる複数の領域を有する2枚の回折格子を、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上の回折格子対であり、該回折格子対を移動させることにより光を異なる領域に当てて、異なる角分散を生じさせ、光路ずれ量を可変することを特徴とする付記1に記載の装置。

【0155】(付記7) 前記角分散を安定にするために、前記回折格子の温度を制御する制御装置を更に備えることを特徴とする付記3～6のいずれか1つに記載の装置。

【0156】(付記8) 前記回折格子が特定の回数と波長で回折効率が高いブレースドグレーティングであることを特徴とする付記3～6のいずれか1つに記載の装置。

(付記9) 前記回折格子が、透過型のブレースドグレーティングであることを特徴とする付記8に記載の装置。

【0157】(付記10) 前記回折格子が、反射型のブレースドグレーティングであることを特徴とする付記8に記載の装置。

(付記11) 前記回折格子が、透過型のエシェロングレーティングであることを特徴とする付記3～6のいずれか1つに記載の装置。

【0158】(付記12) 前記光路ずれを生じさせる手段が、屈折率波長分散を有する透明材料からなる少なくとも1つ以上の平行平板であり、前記レンズからの出力光に対する該平行平板の角度を前記VIPAの角分散方向に対して垂直な方向に変えることにより光路ずれ量および光路ずれの方向を可変することを特徴とする付記1

に記載の装置。

【0159】(付記13)前記光路ずれ量を安定にするために、前記平行平板の温度を制御する制御装置を更に備えることを特徴とする付記12に記載の装置。

(付記14)前記光路ずれを生じさせる手段が、屈折率波長分散を有する透明材料からなる2枚のプリズムを、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上のプリズム対であり、光路ずれ量を可変する手段が、プリズム対の間隔を変える手段であることを特徴とする付記1に記載の装置。

【0160】(付記15)前記光路ずれを生じさせる手段が、屈折率波長分散を有する透明材料からなる2枚のプリズムを、互いに平行かつ点対称に配置した少なくとも1つ以上のプリズム対であり、該プリズム対を光路に対して180度回転させることにより、波長によって光路ずれを生じさせる方向を逆にさせ、波長分散スロープの正負を変えると共に、回折格子対の間隔を変えることにより光路ずれ量を可変することを特徴とする付記1に記載の装置。

【0161】(付記16)前記光路ずれ量を安定にするために、前記プリズムの温度を制御する制御装置を備えることを特徴とする付記14または15に記載の装置。

(付記17)前記平行平板またはプリズムの透明材料がSi、Ge、GaAsのいずれかであることを特徴とする付記14または15に記載の装置。

【0162】(付記18)前記光路ずれを生じさせる手段により、発生する偏波依存損失を補償するために偏光回転素子を有することを特徴とする付記1に記載の装置。

(付記19)3枚以上のグレーティングを有することにより、前記光路ずれを生じさせ、負の波長分散スロープから正の分散スロープ、あるいはその逆に連続的に可変出来る機能を有することを特徴とする付記1に記載の装置。

【0163】(付記20)付記1に記載の装置を搭載し、多波長の信号を同時に分散補償することを特徴とする波長多重伝送装置。

(付記21)第1のポートと第2のポートを有し、該第1のポートに入力された光を該第2のポートの異なる位置に対応して遅延を与え出力することで該第2のポートからの出力光が干渉し、異なる波長は異なる出射角とし、該第2のポートの異なる位置に入力された光を該第2のポートの位置に対応した遅延を与えて該第1のポートより出力する光学デバイスと、該光学デバイスの該第2のポートからの光を該光学デバイスの第2のポート側に反射する反射手段と、該光学デバイスと該反射手段の間に該光学デバイスの該第2のポートからの光の光路をずらす光路ずれ生成手段を設けたことを特徴とする装置。

【0164】(付記22)付記21において、該光路ず

れ生成手段は光路ずれ量を可変出来ることを特徴とする装置。

【0165】

【発明の効果】本発明によれば、従来実現されていなかった波長分散と波長分散スロープを独立に制御する装置を提供することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】色分散を補償するための反分散部として使用するためのチャープグレーティングを示す図である。

【図2】従来の回折格子を示す図である。

【図3】(A)異常分散を生じる空間的グレーティング対配置を示す図である。

(B)正常分散を生じる空間的グレーティング対配置を示す図である。

【図4】VIPAを用いた波長分散を生じる装置を示す図である。

【図5】ファイバの種類による波長分散及び波長分散スロープを示す図である。

【図6】本発明の一実施形態によるVIPAを示す図である。

【図7】本発明の一実施形態による図6のVIPAを詳細に示す図である。

【図8】本発明の一実施形態による図6に示すVIPAの直線IX-IXに沿った横断面図を示す図である。

【図9】本発明の一実施形態による、VIPAによって行われる反射光間の干渉を示す図である。

【図10】本発明の一実施形態による、入力光の傾き角度を決定するための、図6に示すVIPAの直線IX-IXに沿った横断面を示す図である。

【図11】(A)、(B)、(C)、(D)は、本発明の一実施形態によるVIPAを作製する方法を示す図である。

【図12】本発明の一実施形態による、色分散を生じさせるための角分散部としてVIPAを使用する装置を示す図である。

【図13】本発明の一実施形態による、図12に示す装置の動作を詳細に示す図である。

【図14】本発明の一実施形態による、VIPAの干渉の様々な次数を示す図である。

【図15】本発明の一実施形態による、波長分割多重光の幾つかのチャンネルの色分散を示す図である。

【図16】(A)及び(B)は、本発明の他の実施形態による、光を分散させるためにVIPAを使用した装置の側面図である。

【図17】本発明の一実施形態による、光束の波長に対するVIPAの光束の出射角を示す図である。

【図18】本発明の一実施形態による、光束の波長に対するVIPAの角分散を示す図である。

【図19】本発明の一実施形態による、VIPAを使用する装置の異なるミラータイプの効果を示す図である。

【図 20】本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置の波長に対する色分散を、使用する異なるミラータイプ毎に示す図である。

【図 21】本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置のミラーの効果を示す図である。

【図 22】本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置の一定の色分散を示す図である。

【図 23】本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置のためのミラーの断面を示す図である。

【図 24】本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置のミラーの 3 次元形状を示す図である。

【図 25】本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置のミラーの断面を示す図である。

【図 26】波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための原理構成を示す図である。

【図 27】(A) 本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分側面を示す図である。

(B) 本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 28】(A) (B) 本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 29】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 30】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 31】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 32】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 33】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 34】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 35】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 36】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 37】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 38】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 39】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 40】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 41】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 42】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図である。

【図 43】本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の別の実施形態の部分上面を示す図である。

#### 【符号の説明】

307 VIPA

308 レンズ

309 3次元ミラー

310 平行平板

315、316 プリズム

317 プリズム対

320、321、325、326、329、330、3

40、341、360、361、370、371、37

2 透過型ブレースドグレーティング

322、327、331、335、342、362、4

40 グレーティング対

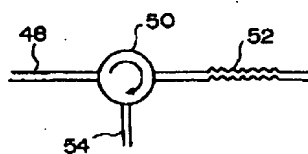
333、334 反射型ブレースドグレーティング

350 偏光回転素子

438、439 エシェロングレーティング

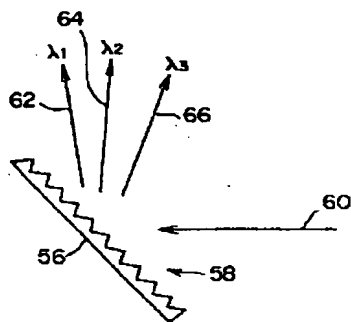
【図1】

色分散を補償するための反分散部として  
使用するためのチャープグレーティングを示す図



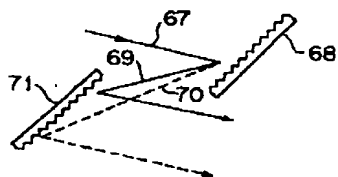
【図2】

従来の回折格子を示す図

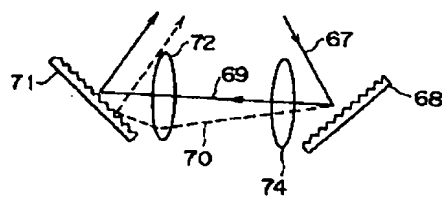


【図3】

- (A) 異常分散を生じる空間的グレーティング対配置を示す図  
(B) 正常分散を生じる空間的グレーティング対配置を示す図



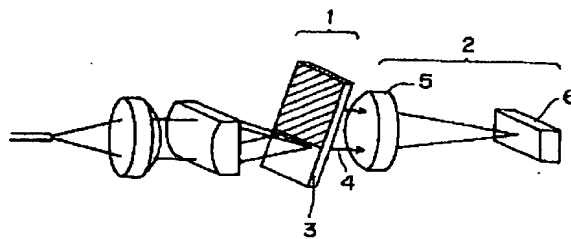
(A)



(B)

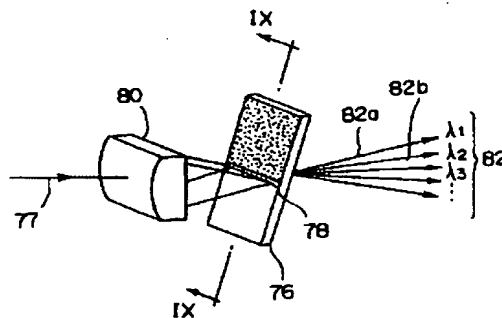
【図4】

VIPAを用いた波長分散を生じる装置を示す図



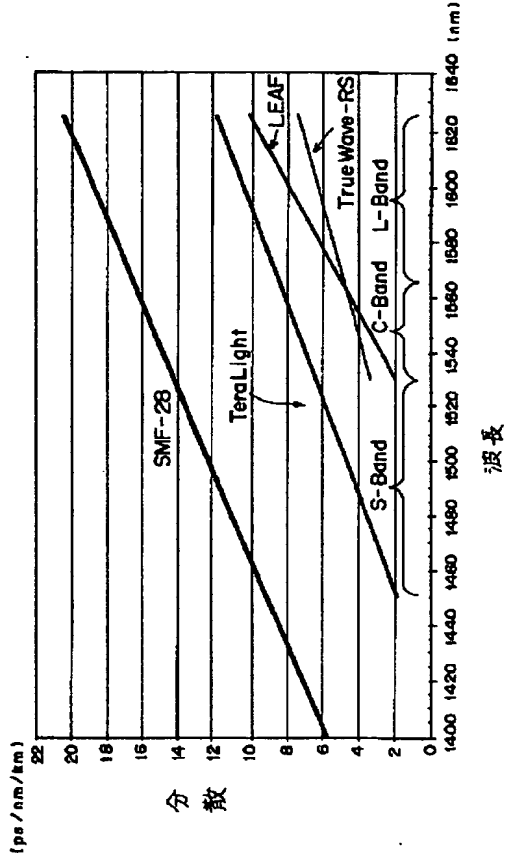
【図6】

本発明の一実施形態によるVIPAを示す図



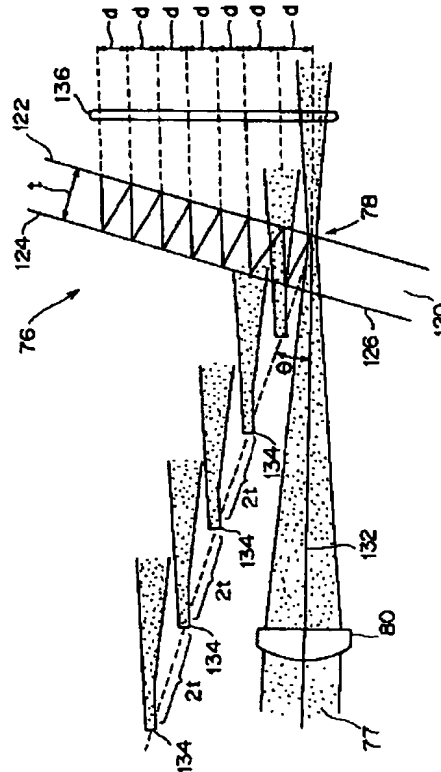
【図5】

ファイバの種類による波長分散及び波長分散スロープを示す図



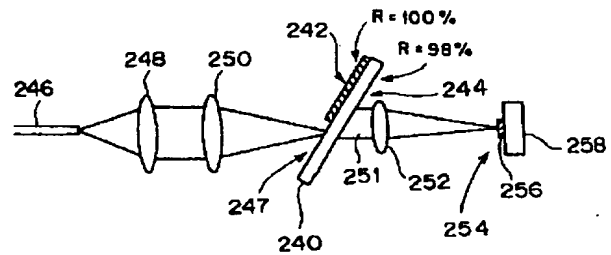
【図7】

本発明の一実施形態による図6のVIPAを詳細に示す図



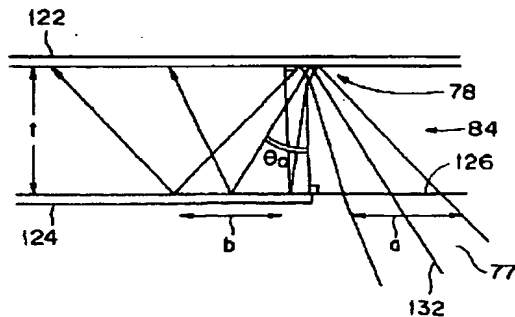
【図12】

本発明の一実施形態による色分散を生じさせるための角分散部としてVIPAを使用する装置を示す図



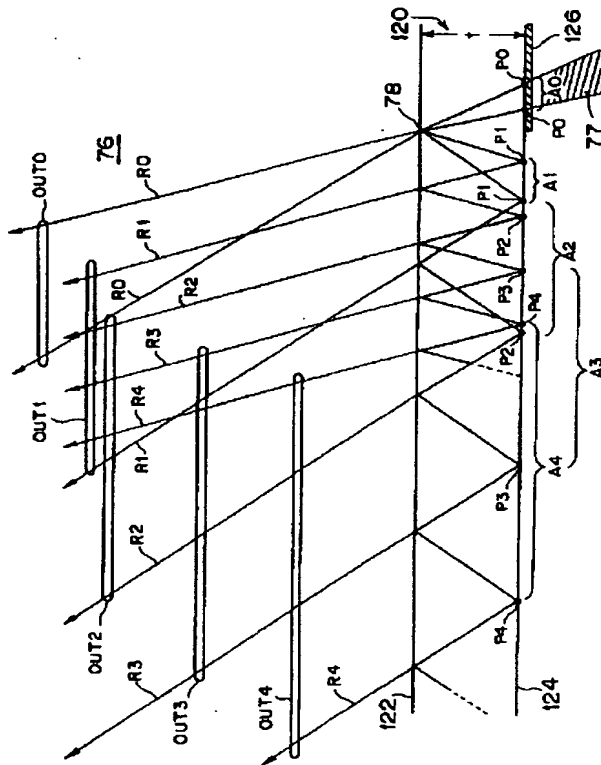
【図10】

本発明の一実施形態による、入力光の傾き角度を決定するための、図6に示すVIPAの直線IX-IXに沿った横断面を示す図



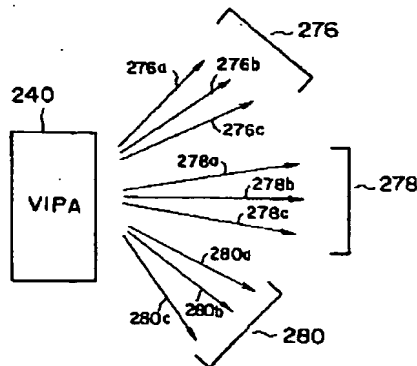
【図8】

本発明の一実施形態による図6に示すVIPAの直線IX-IXに沿った横断面図面を示す図



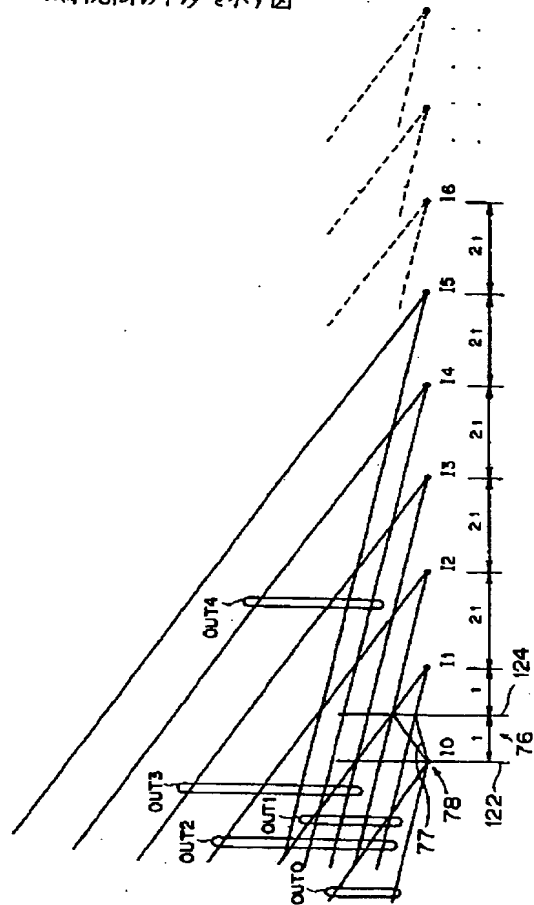
【図14】

本発明の一実施形態によるVIPAの干渉の様々な次数を示す図



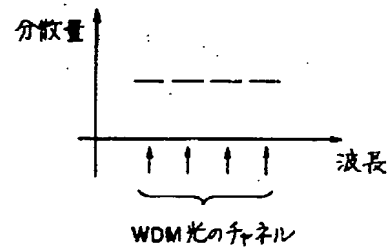
【図9】

本発明の一実施形態によるVIPAによって行われる反射光間の干渉を示す図



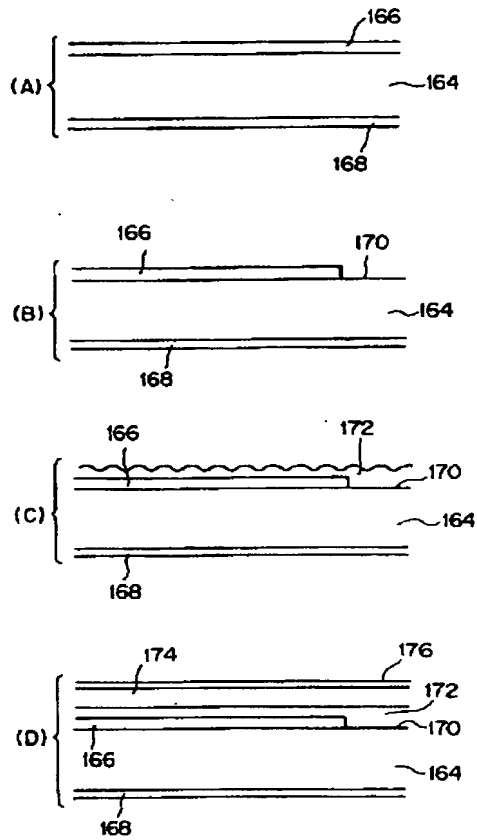
【図15】

本発明の一実施形態による、波長分割多重光の幾つかのチャネルの色分散を示す図



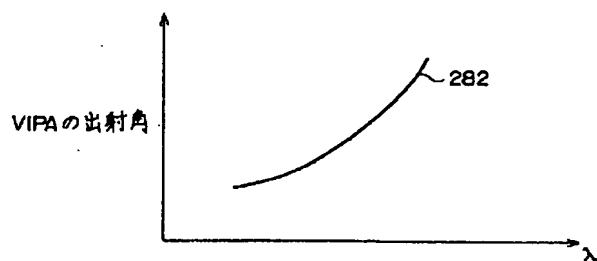
【図11】

(A), (B), (C), (D)は本発明の一実施形態によるVIPAを作成する方法を示す図



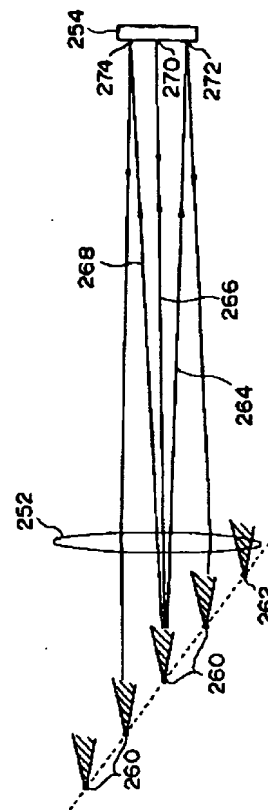
【図17】

本発明の一実施形態による光束の波長に対するVIPAの光束の出射角を示す図



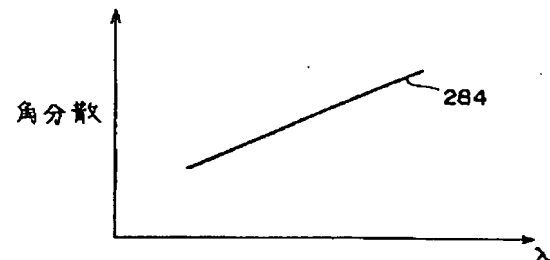
【図13】

本発明の一実施形態による図12に示す装置の動作を詳細に示す図



【図18】

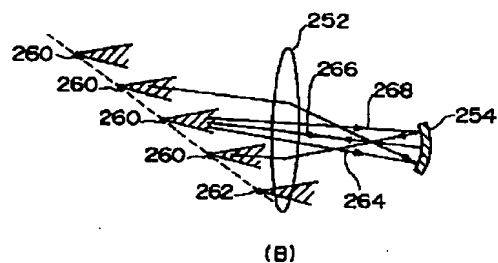
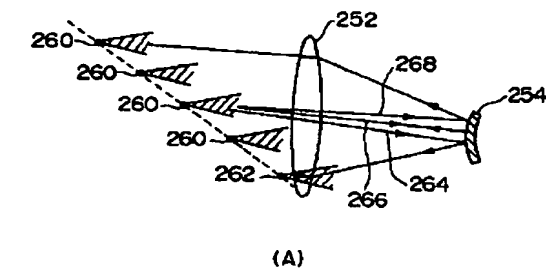
本発明の一実施形態による光束の波長に対するVIPAの角分散を示す図





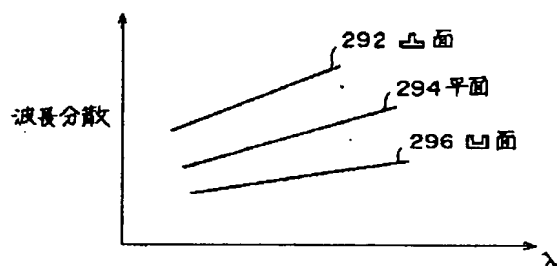
【図16】

(A)及び(B)は、本発明の他の実施形態による、光を分散させるためにVIPAを使用した装置の側面図



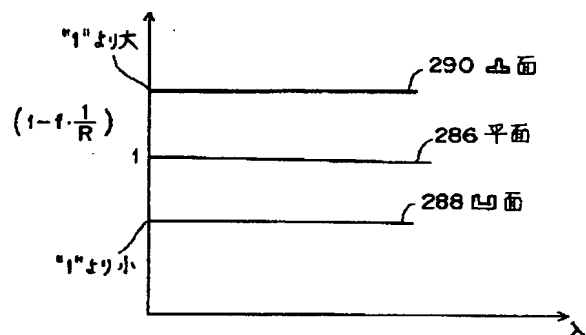
【図20】

本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置の波長に対する色分散を使用する異なるミラータイプ毎に示す図



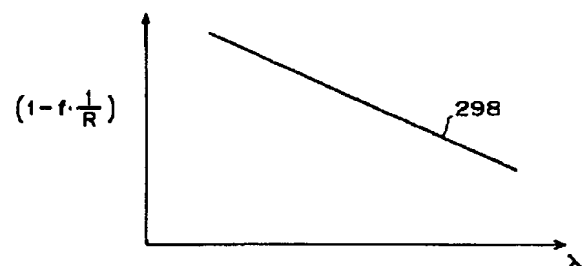
【図19】

本発明の一実施形態によるVIPAを使用する装置の異なるミラータイプの効果を示す図



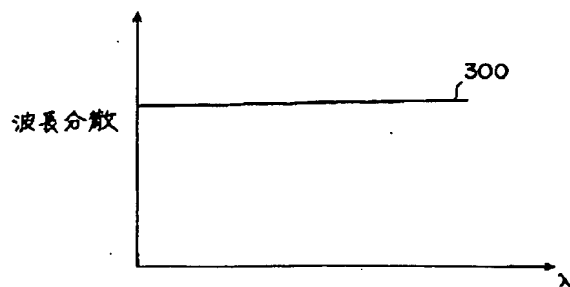
【図21】

本実施の形態による、VIPAを使用する装置のミラーの効果を示す図



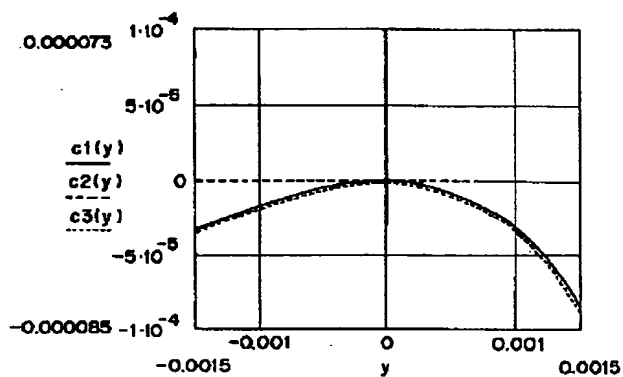
【図22】

本発明の実施形態による、VIPAを使用する装置のミラー効果を示す図



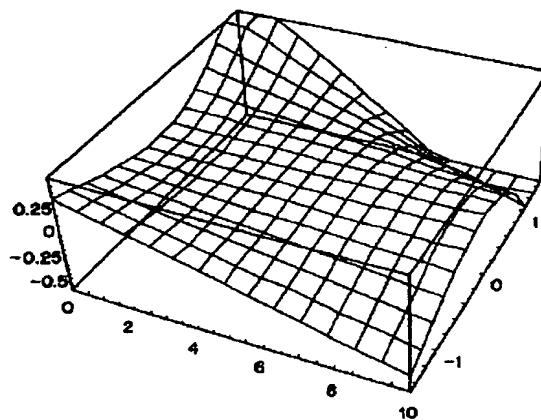
【図23】

本発明の実施形態によるVIPAを使用する装置のためのミラーの断面を示す図



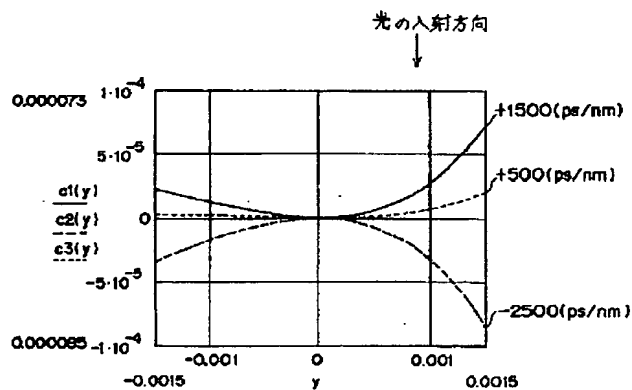
【図24】

本発明の実施形態によるVIPAを使用する装置のミラーの3次元形状を示す図



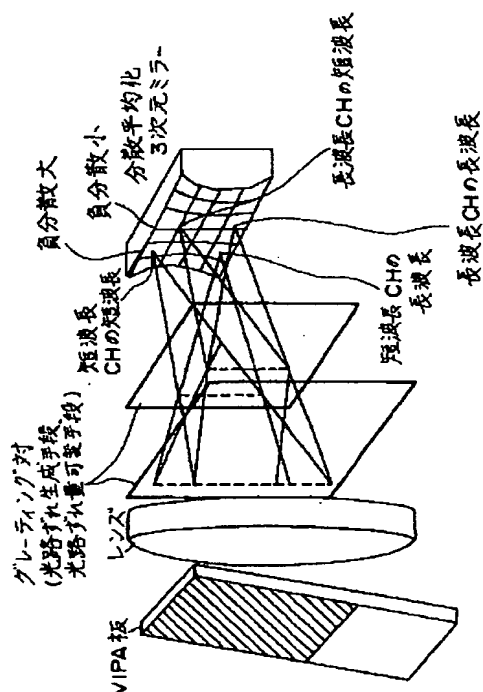
【図25】

本発明の実施形態によるVIPAを使用する装置のミラーの断面を示す図



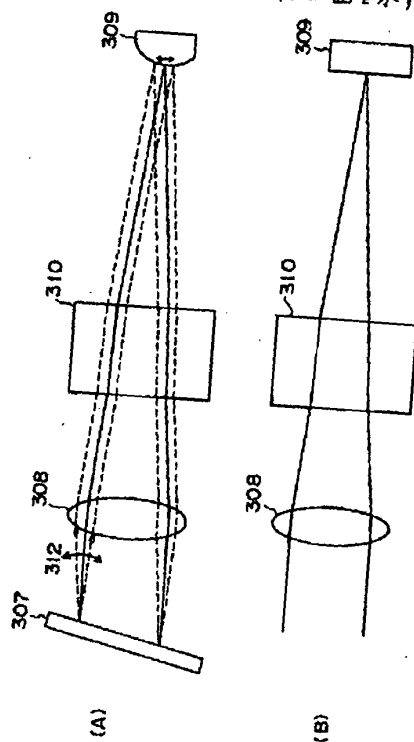
【図26】

波長分散と波長分散スローフを独立に可変するための原理構成を示す図



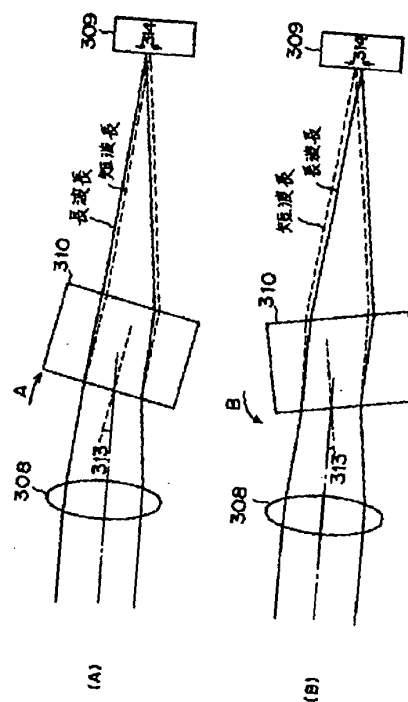
【図27】

- (A) 本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分側面を示す図。  
 (B) 本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図。



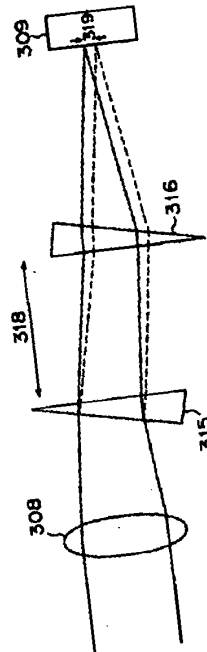
【図28】

- (A) (B) 本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図。



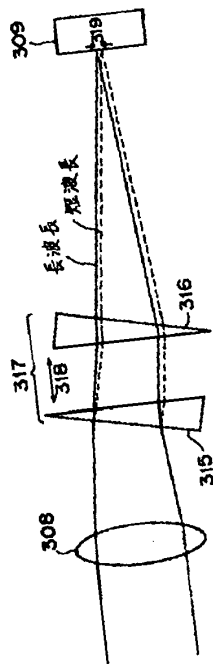
【図30】

本発明の一定形態によも、波長分散と波長分散スローフを独立に可変するための装置の部分上面を示す図



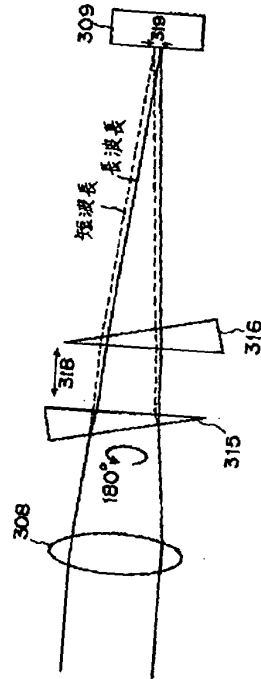
【図29】

本発明の一実施形態によも、波長分散と波長分散スローフを独立に可変するための装置の部分上面を示す図



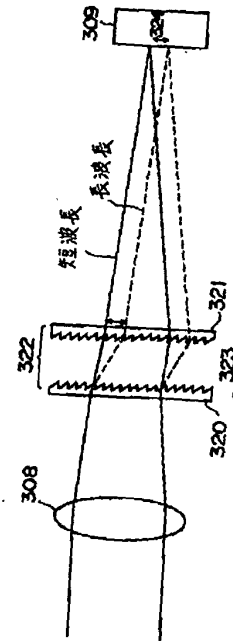
【図31】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図



【図32】

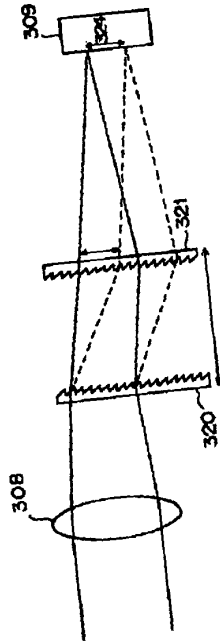
本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に可変するための装置の部分上面を示す図



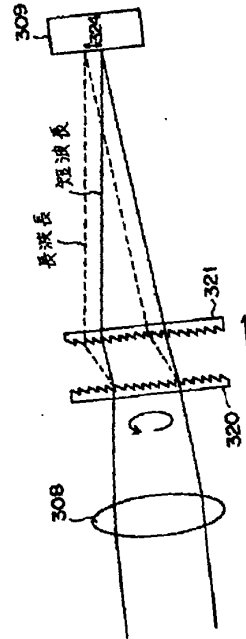
(29)

【図34】

【図33】  
本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図

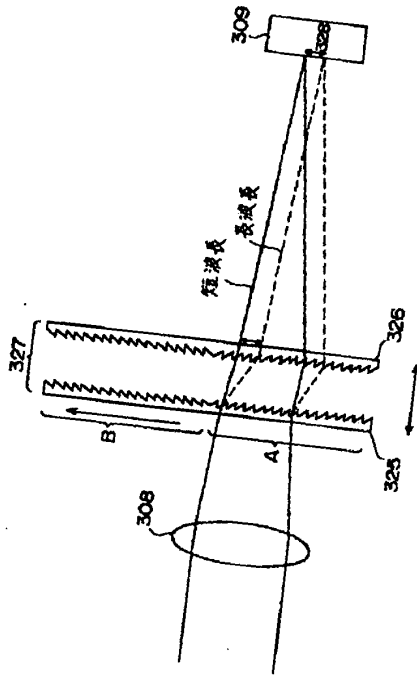


本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



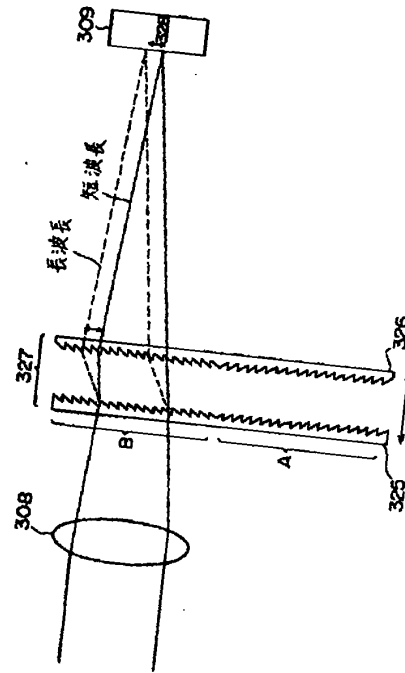
【図35】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



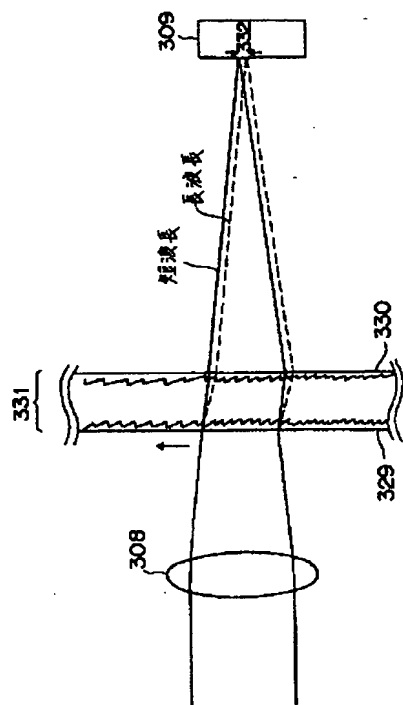
【図36】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



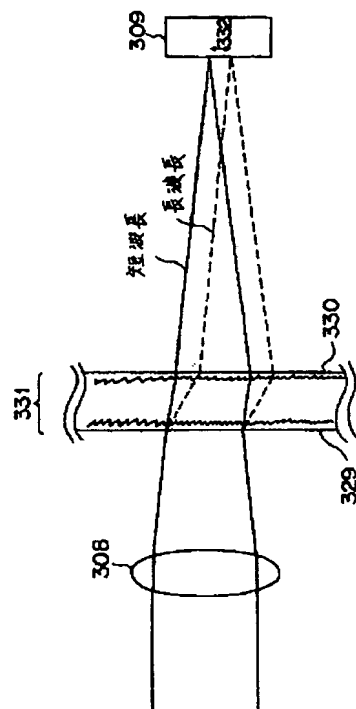
【図37】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



【図38】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図

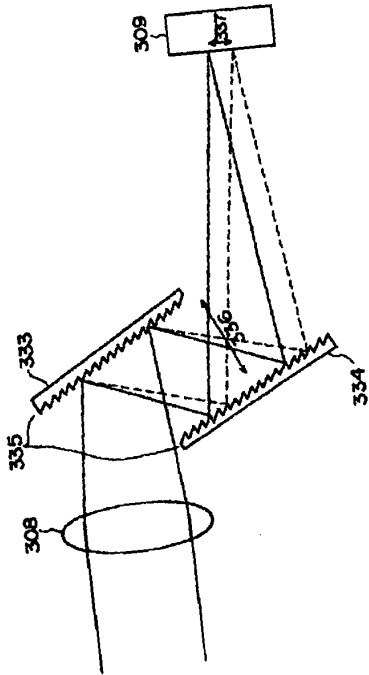




(32)

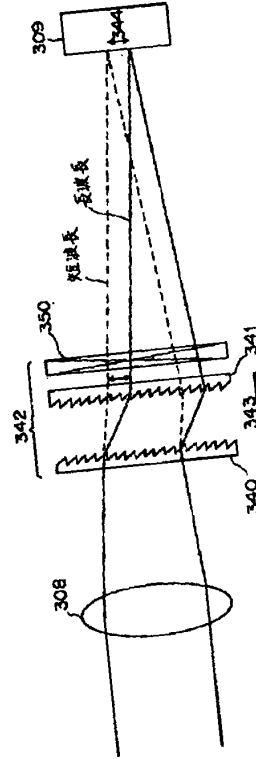
【図39】

本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



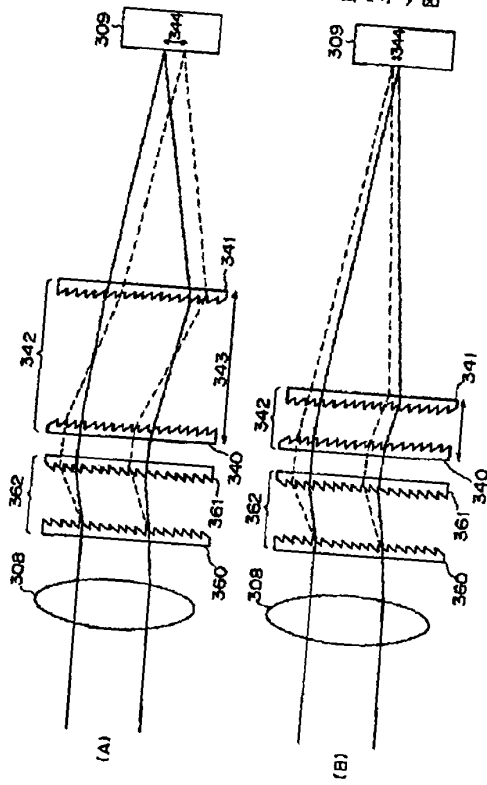
【図40】

本発明の一実施形態による、波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



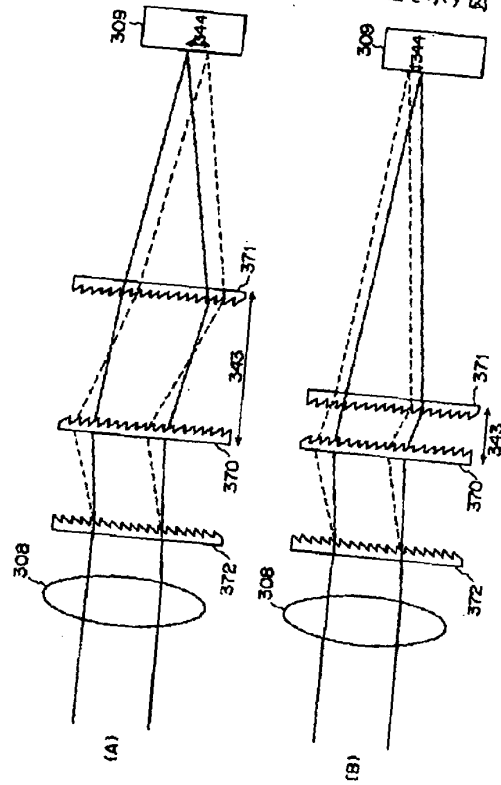
【図41】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



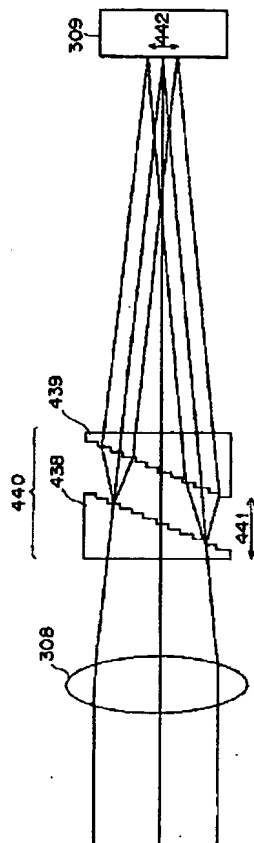
【図42】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを独立に変換するための装置の部分上面を示す図



【図43】

本発明の一実施形態による波長分散と波長分散スロープを  
独立に変換するための装置の別の実施形態の部分上面を示す図



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 4 B 10/18

Fターム(参考) 2H048 GA13 GA15 GA48 GA60

2H049 AA40 AA50 AA59 AA62 AA63

AA66

5K002 AA06 CA01 DA02